

**Titre:** Étude expérimentale d'un système de rétention des particules fines  
Title: dans un formeur de laboratoire

**Auteur:** Zoé Périn-Levasseur  
Author:

**Date:** 2004

**Type:** Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

**Référence:** Périn-Levasseur, Z. (2004). Étude expérimentale d'un système de rétention des  
Citation: particules fines dans un formeur de laboratoire [Master's thesis, École  
Polytechnique de Montréal]. PolyPublie. <https://publications.polymtl.ca/7323/>

 **Document en libre accès dans PolyPublie**  
Open Access document in PolyPublie

**URL de PolyPublie:** <https://publications.polymtl.ca/7323/>  
PolyPublie URL:

**Directeurs de  
recherche:**  
Advisors:

**Programme:** Unspecified  
Program:

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE D'UN SYSTÈME DE RÉTENTION DES  
PARTICULES FINES DANS UN FORMEUR DE LABORATOIRE

ZOÉ PÉRIN-LEVASSEUR  
DÉPARTEMENT DE GÉNIE CHIMIQUE  
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION  
DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES  
(GÉNIE CHIMIQUE)  
AVRIL 2004

©Zoé Périn-Levasseur, 2004.



National Library  
of Canada

Bibliothèque nationale  
du Canada

Acquisitions and  
Bibliographic Services

Acquisitions et  
services bibliographiques

395 Wellington Street  
Ottawa ON K1A 0N4  
Canada

395, rue Wellington  
Ottawa ON K1A 0N4  
Canada

*Your file    Votre référence*

*ISBN: 0-612-91961-7*

*Our file    Notre référence*

*ISBN: 0-612-91961-7*

The author has granted a non-exclusive licence allowing the National Library of Canada to reproduce, loan, distribute or sell copies of this thesis in microform, paper or electronic formats.

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque nationale du Canada de reproduire, prêter, distribuer ou vendre des copies de cette thèse sous la forme de microfiche/film, de reproduction sur papier ou sur format électronique.

The author retains ownership of the copyright in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur qui protège cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

---

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms may have been removed from this dissertation.

Conformément à la loi canadienne sur la protection de la vie privée, quelques formulaires secondaires ont été enlevés de ce manuscrit.

While these forms may be included in the document page count, their removal does not represent any loss of content from the dissertation.

Bien que ces formulaires aient inclus dans la pagination, il n'y aura aucun contenu manquant.

**Canada**

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL  
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE D'UN SYSTÈME DE RÉTENTION DES  
PARTICULES FINES DANS UN FORMEUR DE LABORATOIRE

présenté par : PÉRIN-LEVASSEUR Zoé

en vue de l'obtention du diplôme de : Maîtrise ès sciences appliquées

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

M. PERRIER Michel, Ph.D., président

M. PARIS Jean René, Ph.D., membre et directeur de recherche

M. VAN DE VEN Theo G.M., Ph.D., membre et codirecteur de recherche

M. POLVERARI Marco, Ph.D., membre

*À mes parents*

## REMERCIEMENTS

L'obtention d'une maîtrise est un travail de longue haleine qui exige une certaine discipline, un sens de l'autonomie et un travail constant. Même si toutes ces conditions sont réunies, la réussite de cette maîtrise n'aurait été sans doute pas possible sans le soutien des personnes suivantes que je tiens à remercier plus particulièrement :

- Jean Paris, qui a dirigé ce projet de maîtrise, qui m'a soutenue à tous les niveaux et conseillée du début jusqu'à la toute fin de ce travail
- Théo van de Ven, qui a codirigé ce projet de maîtrise et qui m'a accueillie au sein du CRPP pour effectuer toute la partie expérimentale de ma maîtrise
- Fero Bednar, avec qui j'ai formé une équipe formidable de travail grâce à ses idées inventives et son sens de la perfection
- Le personnel d'E.Q.U.I.P International et de Papier Masson pour leur implication et leur précieuse collaboration à nous fournir les matières premières nécessaires à l'exécution du travail expérimental
- Bernard Clément qui m'a apporté son aide pour l'élaboration d'un plan statistique d'expériences convenant à mon projet
- Louise Bernier et Colleen McNamee, qui ont toujours su apporter leur aide pour toutes les démarches administratives reliées à ma maîtrise
- David Brown et Bruno Fecil, mes deux compères de cours, qui ont contribué à rendre ceux-ci motivants et enrichissants
- Louis et Marie-Sophie, avec qui j'ai partagé les hauts et les bas de ma vie durant ces deux dernières années
- Tous mes collègues de travail à Polytechnique comme à McGill qui ont contribué à rendre ces deux lieux d'études très vivants : Françoise, Celia, Gabriella, Monica, Marcius, Xevi, Xavi, Alain, JJ, William, Christopher, Loisa, Janna
- Mes parents et amis qui par leur présence m'ont permis de traverser cette maîtrise sans trop de difficultés.

## RÉSUMÉ

Une étape essentielle dans la fabrication du papier est la rétention des particules fines dans la feuille de papier, puisque celle-ci permet d'avoir du papier de bonne qualité. Ces fines permettent aux fibres de créer des liens afin de rendre la feuille de papier plus résistante. Plusieurs systèmes de rétention des fines sont disponibles aujourd'hui. Entre autres, les systèmes basés sur l'oxyde de polyéthylène (PEO) avec un cofacteur sont de plus en plus courants dans les usines de papier journal. Plusieurs facteurs affectent l'efficacité d'un système de rétention des fines : la diminution du grammage et l'augmentation de la vitesse de la machine sont deux tendances de l'industrie papetière aujourd'hui qui font décroître la rétention. La fermeture des circuits d'eaux blanches augmente la quantité de matière à retenir et pour réduire la variabilité du procédé de fabrication du papier, la rétention de cette matière prend aussi dans ce cas-là toute son importance. Le désenchevêtrement du PEO lors de sa préparation induit également une diminution de son efficacité de rétention dans le bout humide de la machine. L'étude de la rétention est donc impérative.

Ce projet a pour objectif d'observer les mécanismes de rétention des fines dans la zone de formation d'un formeur à double-toile de laboratoire (FDTL) et d'étudier la manière de se comporter de l'oxyde de polyéthylène agissant comme agent de rétention dans le présent projet pour modéliser le processus de rétention et éventuellement obtenir une rétention des fines maximale sur une machine à papier. A cet effet, un appareil mesurant

le degré de désenchevêtrement du PEO lors de sa préparation et de son stockage a été développé. Le capteur a été conçu pour mesurer une perte de pression d'une solution de PEO passant à travers un fin capillaire. Cette perte de pression a été reliée au degré de désenchevêtrement du PEO. Une forte relation entre la mesure de perte de pression (ou l'état d'enchevêtrement du PEO) et l'efficacité du PEO à retenir les fines a aussi été trouvée.

L'appareil utilisé pour trouver cette dernière relation est le formeur à double-toile de laboratoire (FDTL) du Centre de Recherche en Pâtes et Papiers de McGill. L'évaluation de la capacité du formeur à double-toile de laboratoire à étudier les systèmes de rétention a été faite. Il a été trouvé que les expériences sont reproductibles et donnent des résultats précis. Cette conclusion a été obtenue en faisant des bilans de matière.

Enfin, toujours dans l'objectif de comprendre le processus de la rétention des fines dans le papier à l'aide de l'oxyde de polyéthylène, l'observation des variables qui influencent cette rétention a été nécessaire. A cet effet, un plan statistique d'expérience a été effectué sur le FDTL en faisant varier les 4 facteurs les plus susceptibles d'affecter la rétention des fines dans le papier, soit le dosage du PEO, le ratio cofacteur/PEO, la concentration du PEO au point d'injection du polymère et le temps d'agitation du PEO lors de sa préparation. Le dosage du PEO et le ratio cofacteur/PEO ont été identifiés comme les deux paramètres ayant le plus d'impact sur la rétention des fines. Un modèle mettant en relation les 4 paramètres a été finalement élaboré.



## ABSTRACT

An essential step in the papermaking process is the retention of fines particles in the paper sheet, which contributes to the production of a paper of good quality. Those fines create bonds between fibers that make the sheet of paper more resistant. A number of fines retention systems are available today. Among them, the systems based on polyethylene oxide (PEO) with a cofactor are increasingly used in newspaper mills. Several factors affect the effectiveness of a system to retain fines: a reduction in basis weight and an increase in the speed of the machine are two trends in the paper industry today which affect the retention. The closure of the whitewater circuits increases the quantity of material to be retained and, to reduce the variability of the papermaking process, the retention of this material becomes in this case particularly important. Disentanglement of the PEO during its preparation also leads to a reduction in the efficiency of retention in the wet end of the machine. The study of the retention is thus imperative.

The objective of this project is to determine the mechanisms of retention of fines in a laboratory twin-wire sheet former with polyethylene oxide, the retention aid studied in this project, to model the retention process and to possibly maximize retention of fines on a paper machine. To this end, an apparatus measuring the degree of disentanglement of PEO during preparation and storage was developed. The sensor was designed to measure the loss of pressure of a solution passing through a narrow capillary. A strong

correlation between the measurement of pressure drop (or the PEO state of entanglement) and the efficiency of the PEO to retain the fines was also found.

The apparatus used to find this correlation is the laboratory twin-wire sheet former of the Pulp and Paper Research Center of McGill University. The evaluation of the capacity of this former to study retention systems was verified. It was found that the experiments are reproducible and give precise results. This conclusion was obtained by performing mass balances.

Lastly, with the objective of gaining a good knowledge of the fines retention process in paper using polyethylene oxide, a study of the variables which influence this retention was undertaken. An experimental statistical plan was performed on the laboratory twin-wire sheet former while varying the 4 factors most likely to affect the retention of fines in the paper: PEO dosage, PEO/Cofactor ratio, PEO concentration, and time of stirring during PEO preparation. The PEO dosage and the PEO/Cofactor ratio were identified as the two parameters having the most impact on fines retention. Finally, a model linking the 4 parameters was developed.

## TABLE DES MATIÈRES

<b>DÉDICACE .....</b>	<b>iv</b>
<b>REMERCIEMENTS .....</b>	<b>v</b>
<b>RÉSUMÉ.....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>viii</b>
<b>TABLE DES MATIÈRES .....</b>	<b>x</b>
<b>LISTE DES ANNEXES .....</b>	<b>xiii</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>	<b>xiv</b>
<b>LISTE DES FIGURES .....</b>	<b>xv</b>
<b>LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS .....</b>	<b>xvii</b>
<b>CHAPITRE I INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
1.1 Contexte et problématique .....	1
1.2 Objectifs de l'étude .....	4
1.3 Organisation du mémoire.....	6
<b>CHAPITRE II DÉSENCEVÊTREMENT DE L'OXYDE DE POLYÉTHYLÈNE .....</b>	<b>7</b>
2.1 Présentation .....	7
2.2 Introduction .....	8
2.3 Travail expérimental .....	10
2.3.1 Matériel utilisé .....	10
2.3.2 Méthodes .....	11
2.4 Résultats et discussion .....	16

2.4.1	Dissolution et désenchevêtrement du PEO .....	17
2.4.2	Stockage du PEO .....	19
2.4.3	Efficacité de rétention du PEO.....	20
2.5	Conclusions et implications pour la fabrication du papier.....	22

### **CHAPITRE III BILAN DE MASSE SUR UN FORMEUR À DOUBLE-TOILE DE LABORATOIRE.....24**

3.1	Présentation .....	24
3.2	Introduction .....	25
3.2.1	Notion de la rétention.....	25
3.2.2	Mesures expérimentales de la rétention .....	25
3.2.3	Étude de l'efficacité de rétention du PEO sur le FDTL.....	29
3.3	Travail expérimental .....	30
3.3.1	Expériences pour les bilans de matière .....	30
3.3.2	Préparation du PEO.....	31
3.4	Résultats et discussion .....	32
3.4.1	Bilans de matières globaux .....	32
3.4.2	Comparaison avec des résultats antérieurs.....	36
3.5	Conclusions .....	37

### **CHAPITRE IV ÉTUDE EXPÉRIMENTALE D'UN SYSTÈME DE RÉTENTION BASÉ SUR LE PEO EFFECTUÉE SUR UN FORMEUR DOUBLE-TOILE DE LABORATOIRE.....39**

4.1	Présentation .....	39
4.2	Introduction .....	40
4.3	Travail expérimental .....	42
4.3.1	Préparation et désenchevêtrement du PEO .....	42
4.3.2	Design expérimental.....	43
4.4	Résultats et discussion .....	45
4.4.1	Efficacité de rétention du PEO.....	45
4.4.2	Analyse statistique .....	48
4.4.2	Modélisation.....	59
4.5	Conclusions .....	61

<b>CONCLUSION.....</b>	<b>63</b>
<b>REFERENCES .....</b>	<b>66</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>70</b>

**LISTE DES ANNEXES**

Annexe 1	Publication du Congrès Francophone du Papier (2002).....	70
Annexe 2	Bilans pour vérifier la reproductibilité et la précision du FDTL.....	76
Annexe 3	Données pour le design expérimental.....	85

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.1 Caractéristiques du FDTL .....	27
Tableau 3.2 Bilans de matière totaux .....	33
Tableau 3.3 Bilans de matière sur les fines .....	33
Tableau 3.4 Bilans de matière globaux pour le FDTL et le formeur Beloit .....	36
Tableau 4.1 Variables d'entrée et modalités associées .....	43
Tableau 4.2 Combinaison des paramètres pour chaque essai avec valeurs de perte de pression et d'efficacité de rétention du PEO .....	46
Tableau 4.3 Limites de contrôles pour la moyenne $\bar{X}$ et l'étendue R .....	50
Tableau 4.4 Paramètres constants A2, D3 et D4 .....	51
Tableau 4.5 Analyse de la variance (ANOVA) .....	56
Tableau 4.6 Signification d'une table ANOVA .....	56
Tableau 4.7 Comparaison entre les valeurs expérimentales et les valeurs calculées de la rétention .....	60

## LISTE DES FIGURES

Figure 2.1 Désenchevêtrement du PEO: a) molécules en grands enchevêtrements; b) molécules en petits enchevêtrements; c) chaînes libres de PEO.....	9
Figure 2.2 Schéma de l'appareil expérimental de mesure de la perte de pression.....	13
Figure 2.3 Schéma du capillaire.....	13
Figure 2.4 Schéma de la préparation du PEO. DT – réservoir de dissolution; ST – réservoir de stockage; P-1, P-2 – pompe; P-3 – pompe de mélange.....	17
Figure 2.5 Perte de pression d'une solution de PEO à 0,2% en fonction du temps d'agitation (400 t/min) pour différents débits. ....	18
Figure 2.6 Cinétiques de dissolution du PEO durant son agitation (400 t/min) et son pompage (250 ml/min). I – dissolution du PEO, II – grands enchevêtrements, III – désenchevêtrement du PEO, IV – PEO désenchevêtré. ....	19
Figure 2.7 Perte de pression du PEO en fonction du temps de stockage mesurée.....	20
à 160 et 250 mL/min. ....	20
Figure 2.8 Rétention globale en fonction de la perte de pression d'une solution de PEO à 0,02% mesurée à 400 ml/min.....	21
Figure 3.1 Schéma du formeur à double-toile de laboratoire.....	27
Figure 3.2 Vue d'ensemble du formeur à double-toile de laboratoire .....	28
Figure 3.3 Injection de la pâte et du PEO/CF sur le FDTL.....	29
Figure 3.4 Illustration du courant de retour de pâte à la caisse d'arrivée .....	34
Figure 4.1 Cartes de contrôle de la rétention des fines .....	52



Figure 4.2	Charte Pareto .....	54
Figure 4.3	Distribution normale des résidus .....	57
Figure 4.4	Uniformité de l'erreur expérimentale .....	58
Figure 4.5	Graphique contour de l'efficacité de rétention des fines .....	61

**LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS**

C	ratio cofacteur/PEO
CF	cofacteur
CRPP	centre de recherche en pâtes et papiers
D	concentration du PEO, %
DDJ	dynamic drainage jar
dP	perte de pression, kPa
DT	réservoir de dissolution
FDTL	formeur à double-toile de laboratoire
LC	ligne centrale
LIC	limite inférieure de contrôle
LSC	limite supérieure de contrôle
Mfi	masse des fines à l'entrée du système, g
Mfeb	masse des fines dans l'eau blanche recueillie, g
Mw	poids moléculaire, g/mol
od	matière séchée au four
PEO	oxyde de polyéthylène
P	dosage de PEO, mg/kg
P-1/2/3	pompe
PM	machine à papier
PT	transducteur de pression

PUR	Paprican university report
R	rétention des fines, %
Re	nombre de Reynolds
RT	transmetteur de rétention
S	temps d'agitation du PEO, h
SC	contrôleur d'agitation
ST	réservoir de stockage
LTWF	laboratory twin-wire former
PTM	pâte thermo-mécanique
VC-1/2	contrôleur des vannes
R	étendue

## CHAPITRE I INTRODUCTION

### 1.1 Contexte et problématique

Dans la partie humide d'une machine à papier, on ajoute plusieurs produits chimiques à la pâte afin d'améliorer certaines propriétés du papier ou afin de lui en conférer de nouvelles. Certains de ces produits, connus sous le nom d'agents de rétention, servent à retenir la plus grande quantité de charges, de fines ou d'autres matières dans le papier par rapport à la quantité ajoutée à la suspension fibreuse avant la formation de la feuille (Smook, 2002). On utilise deux principales variables pour étudier la rétention des fibres et des adjuvants sur la toile de la machine (Smook, 2002) :

$$\text{Rétention globale (\%)} = \frac{\text{Qté retenue dans la feuille}}{\text{Qté introduite dans la suspension}} \quad (1)$$

$$\text{Rétention première (\%)} = \frac{\text{Qté retenue dans la feuille}}{\text{Qté en caisse d'arrivée}} \quad (2)$$

L'étude de la rétention est justifiable dans le contexte actuel puisque la rétention décroît lorsqu'on diminue le grammage (masse par unité de surface d'un papier ou d'un carton en  $[g/m^2]$ ) et lorsqu'on augmente la vitesse de la machine, deux tendances qui sont observées dans l'industrie papetière d'aujourd'hui (Thorp, 1983). De plus, on tend à

fermer les circuits d'eaux blanches. La rétention revêt alors toute son importance pour la gestion des eaux de l'usine. Des eaux blanches propres signifient :

- moins de problèmes reliés à l'accroissement des impuretés, ce qui engendre une meilleure efficacité de la machine à papier
- moins de matière qui recircule et donc moins de changements dans la composition en fines, charges et fibres de la pâte pour éviter les fluctuations de rétention. La qualité du produit final en est donc plus constante
- une réponse beaucoup plus rapide lorsqu'on change de grade de papier par exemple, ce qui diminue ainsi le taux des cassés ou la production de papier hors spécification (Thorp, 1983).

Des polymères à haut poids moléculaire et des polymères non ioniques, comme l'oxyde de polyéthylène, sont des exemples d'agents de rétention. Les systèmes basés sur l'oxyde de polyéthylène (PEO) en relation avec un cofacteur sont assez courants dans les usines de papier journal du Québec. Le PEO est un polymère soluble dans l'eau qui est produit par polymérisation hétérogène de l'oxyde d'éthylène. Sa formule structurelle est la suivante (Kirk-Othmer, 1996):



Son efficacité de rétention est augmentée si on l'utilise conjointement avec des composés phénoliques que l'on désigne sous le nom de cofacteurs (Kirk-Othmer, 1996). La chaîne flexible de polymère ne s'adsorbe pas sur une surface (fibre ou charge, par exemple). Par contre, lorsqu'on met celle-ci en présence d'un cofacteur, elle devient plus souple. En présence de cofacteur, on crée des complexes associatifs. Ces complexes peuvent donc s'adsorber sur la surface (van de Ven, 1997).

Des études précédentes ont démontré que le PEO à haut poids moléculaire perdait de sa viscosité et son efficacité de floculation avec le temps (Abdallah, 2002 ; van de Ven et al., 2003). Ce phénomène peut être causé par deux types de mécanismes soit, la dégradation par oxydation et le phénomène physique de cisaillement. Le PEO est à l'origine composé d'agrégats, de molécules bien enchevêtrées. Le désenchevêtrement du PEO se produit lorsque le polymère est soumis à un cisaillement. Des recherches ont démontré que le désenchevêtrement se produisait lors de la dissolution, du stockage ou de la dilution et de l'injection du PEO sur la machine à papier (Pigeon, 2000). Les grosses molécules de PEO enchevêtrées se dissocient pour former de plus petits enchevêtrements et des chaînes libres.

D'autres études ont démontrés que la perte de pression est un indicateur du taux de désenchevêtrement du PEO (Bednar et al., 2003). Le principe est relativement simple : on fait passer une solution de PEO à travers un fin capillaire intercalé dans un tube. Le fluide subit alors une constriction à l'entrée du capillaire et une expansion à la sortie, ce

qui occasionne un changement de pression. On prend alors la mesure de la perte de pression aux extrémités du capillaire. Abdallah et al. ont établi la relation entre la perte de pression et désenchevêtrement du PEO. Il a aussi été démontré que la perte de pression est une mesure indirecte de l'efficacité du PEO à faire flocculer les fines (Abdallah, 2002 ; van de Ven et al., 2003) : plus le PEO est désenchevêtré (perte de pression faible), plus le taux d'efficacité de floculation est faible. Ainsi, la construction d'un montage permettant de mesurer cette perte de pression, et conséquemment le degré de désenchevêtrement, est pertinente.

## **1.2 Objectifs de l'étude**

Le but principal de ce travail est de faire une étude expérimentale à petite échelle d'un système de rétention à base d'oxyde de polyéthylène. Elle se traduit par l'étude de la rétention des fines dans la zone de formation (bout humide) d'un formeur à double-toile de laboratoire (FTDL) et l'étude du comportement du PEO agissant comme agent de rétention dans le présent système utilisé. La mesure et le contrôle de l'efficacité du PEO visant à atteindre une rétention des fines optimale sur une machine à papier peuvent être obtenus de la manière suivante soit, en développant un appareil qui mesure le degré de désenchevêtrement du PEO lors de sa préparation et en mesurant la rétention des fines sur un formeur à double-toile de laboratoire

La réalisation de ces objectifs tient compte des aspects suivants :

1. Réaliser la calibration d'un montage de laboratoire transportable pour la mesure de la perte de pression lors de l'écoulement d'une solution de PEO dans un étranglement ou un conduit fin, la conception, les spécifications et l'assemblage de l'appareil ayant déjà été faits par Bednar et al. (2002).
2. Mesurer la perte de pression induite par les conditions de préparation de la solution de PEO en utilisant un montage de laboratoire permettant de simuler les conditions de préparation en usine (taux de cisaillement appliqués, dilutions, temps de résidence). Déterminer les conditions optimales.
3. Déterminer si le formeur à double-toile de laboratoire (FTDL) du Centre de Recherche en Pâtes et Papiers (CRPP) de McGill peut servir à l'étude du système de rétention à base d'oxyde de polyéthylène. Vérifier la reproductibilité des expériences effectuées sur l'appareil au moyen de bilans de masse. Comparer les courants entrants et sortants de l'appareil à des données antérieures.
4. Mesurer l'efficacité de l'agent de rétention en fonction de la perte de pression mesurée. Élaborer et réaliser un plan expérimental sur le formeur à double-toile de laboratoire du CRPP de McGill : traitement des données, identification des paramètres dominants, analyse et interprétation des résultats.



### **1.3 Organisation du mémoire**

Ce mémoire présente l'étude expérimentale à petite échelle de la rétention à l'aide d'un système constitué d'oxyde de polyéthylène et d'un cofacteur. Le chapitre 1 présente une introduction au travail, c'est-à-dire le contexte, la problématique et les objectifs de l'étude. Le corps du mémoire est par la suite constitué de 3 chapitres. Ces 3 chapitres sont 3 chapitres totalement autonomes et entiers, puisqu'ils feront l'objet de rapports universitaires Paprican (PUR) dans un futur rapproché. Le chapitre 2 détaille dans un premier temps le montage de laboratoire conçu pour mesurer la perte de pression et relie la perte de pression à l'efficacité du PEO à retenir les fines. Le chapitre 3 permet d'évaluer la capacité du formeur à double-toile de laboratoire à étudier les systèmes de rétention en évaluant la reproductibilité et la précision du montage. En dernier lieu, le chapitre 4 présente le plan expérimental effectué sur le formeur afin de déterminer quels sont les principaux paramètres qui influencent la rétention des fines sur celui-ci. Finalement, des conclusions générales soulignent les apports des travaux décrits dans ce mémoire et laissent entrevoir les voies à suivre pour poursuivre ce thème de recherche.

## CHAPITRE II DÉSENCHÈVÈTLEMENT DE L'OXYDE DE POLYÉTHYLÈNE

### 2.1 Présentation<sup>1</sup>

Les systèmes de rétention PEO-cofacteur sont de plus en plus employés dans les usines de fabrication de papier journal. On a observé que le PEO perd de son efficacité de rétention avec le temps, principalement parce que ses molécules se désenchevêtrent sous l'effet du cisaillement, de l'entreposage, de la dilution et de l'injection. Cette diminution d'efficacité est attribuée à l'augmentation du désenchevêtrement. Le but du travail présenté dans ce chapitre est le développement d'un appareil d'observation de l'enchevêtrement du PEO durant sa préparation et son entreposage basé sur la mesure de la perte de pression du PEO, perte créée lorsque le PEO en solution aqueuse passe à travers un capillaire fin.

---

<sup>1</sup> Cette section a pour but de faire le lien entre le chapitre et le mémoire

## 2.2 Introduction

La rétention des fines est un procédé important pour la fabrication du papier, puisque les fines jouent un rôle essentiel pour la qualité du papier. Les fines permettent aux fibres de se lier entre elles afin de donner une plus grande force à la feuille. Puisque les fines dispersent la lumière incidente, elles jouent un rôle important en donnant à la feuille une plus grande opacité. Elles contribuent également au poids global du papier, ainsi une fois retenus dans le papier, elles ont également une valeur économique.

Il existe plusieurs systèmes de rétention des fines disponibles aujourd'hui. Les systèmes PEO-cofacteur sont parmi les systèmes les plus utilisés dans les usines de papier journal. La raison principale de ce choix est la nature non-ionique du PEO, qui le rend plus efficace que des polymères chargés dans des systèmes hautement contaminés. Le PEO permet aussi le bon fonctionnement de la machine. Le surdosage, d'autre part, peut affecter dramatiquement la formation de papier.

Pour une rétention optimale, un dosage approprié est nécessaire, mais déterminer le dosage optimal est souvent aggravé par le fait que le PEO perd sa viscosité et ainsi son efficacité de floculation dans le temps (Xiao, 1996 ; Brine, 1992). On a d'abord cru que la perte de viscosité du PEO était causée par une diminution du poids moléculaire due à la dégradation oxydative, où le taux d'oxydation est augmenté par la présence des traces de chlore, de peroxydes, du permanganate ou des persulfates et de certains ions

métalliques de transition tels que  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ , et  $\text{Ni}^{2+}$ . Une combinaison de ces agents, peut en fait mener à de graves pertes de viscosité. Aujourd'hui, plusieurs stabilisants sont disponibles pour réduire au minimum la dégradation (Kirk-Othmer, 1982)

De récentes études ont montré que le PEO en solution aqueuse est présent sous deux formes à l'équilibre: comme agrégats et en tant que chaînes libres de PEO (Polverari, 1994 ; 1996). L'état microscopique de PEO est fortement fonction du cisaillement. De grands enchevêtrements sont présents au début de la dissolution de PEO lors de la préparation de la solution; une agitation plus longue permettra à ces structures de se désenchevêtrer. Les chaînes enchevêtrées de PEO se comportent comme des macromolécules avec de plus grands poids moléculaires et fonctionnent plus efficacement une fois ajoutées à la pâte (Abdallah, 2002 ; van de Ven et al., 2003). Le processus du désenchevêtrement du PEO est illustré à la Figure 2.1 : de grands agrégats enchevêtrés (a) se dissocient pour former de plus petits agrégats enchevêtrés (b) et des chaînes libres de PEO (c).

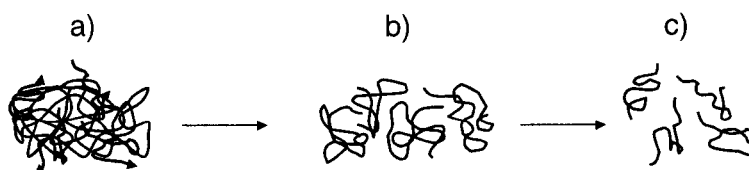


Figure 2.1 Désenchevêtrement du PEO: a) molécules en grands enchevêtrements; b) molécules en petits enchevêtrements; c) chaînes libres de PEO.

Le but de ce travail est la mesure et le contrôle de l'efficacité du PEO pour une rétention des fines optimale sur une machine de papier. On a développé une sonde pour la mesure en ligne du degré de désenchevêtrement de PEO. Cette unité à un capillaire permet une mesure directe du différentiel de pression, qui est relié entre autres facteurs à la viscosité extensionnelle et au poids moléculaire du PEO. Puisque le désenchevêtrement du PEO est directement relié à la viscosité extensionnelle et au poids moléculaire, de petites différences dans le désenchevêtrement peuvent être identifiées.

## **2.3 Travail expérimental**

### **2.3.1 Matériel utilisé**

On a utilisé une pâte thermomécanique sans additif provenant de l'usine Papier Masson à Masson-Angers, Québec à laquelle on a enlevé la latence. Un oxyde de polyéthylène (PEO) PDF 181001 (EQUIP) avec un poids moléculaire de  $5 \times 10^6$  a été fourni par E.Q.U.I.P. Un cofacteur Equipap 1344 a également été fourni par E.Q.U.I.P.

### 2.3.2 Méthodes

#### Préparation et désenchevêtrement

Du PEO à deux concentrations a été employé en se basant sur les données trouvées dans la littérature (Gess, 1998) et provenant de l'industrie E.Q.U.I.P.: une solution aqueuse de PEO à 0,2% pour les expériences portant sur la préparation et sur le stockage du PEO, et à 0,02% pour les expériences portant sur l'efficacité de rétention du PEO.

On a préparé une solution de PEO à 0,2% en ajoutant lentement 1 g de granules de PEO à 500 ml d'eau distillée dans un bécher de 1 L et en agitant à l'aide d'un agitateur à hélice à 400 t/min. On a observé que dans ces conditions, le PEO se dissout complètement en environ 45 minutes, c'est à ce moment qu'il n'y plus de granules de PEO ou de floccs de PEO dans la solution. À ce stade, on désigne le PEO comme étant du PEO fraîchement dissous.

On a préparé un PEO désenchevêtré en prolongeant le temps d'agitation du PEO fraîchement dissous et on a caractérisé ces deux solutions en mesurant leur perte de pression (agitation à 400 t/min dans un bécher de 1 L), le temps zéro est défini comme étant la fin de la dissolution (après 45 minutes). Durant l'agitation, le PEO se désenchevêtre et la viscosité diminue. Lorsque l'agitation n'a plus d'influence sur la

perte de pression du PEO, le PEO est considéré comme complètement dissous, et à cet état, le PEO devrait être complètement désenchevêtré.

### **Appareil expérimental de mesure de la perte de pression**

Un prototype de sonde pour la caractérisation du désenchevêtrement du PEO (ou de son état de dissolution), dont le principe est basé sur des mesures de perte de pression créée lorsqu'une solution aqueuse du polymère passe par un capillaire fin, a été conçu, construit et calibré.

Un schéma de la sonde est montré à la Figure 2.2. Une solution aqueuse de PEO est pompée d'un bécher par une pompe péristaltique (MASTERFLEX L/S) à travers un capillaire pour être par la suite retourné au bécher. La vitesse de rotation de la pompe est contrôlée avec une précision de 0,25%. Le calibrage de la pompe a été fait par une méthode standard basée sur la mesure du poids d'un volume témoin transporté par la pompe pendant une certaine période. Une lecture de différence de pression entre les extrémités du capillaire est prise par un capteur de différence de pression, tel qu'illustré à la Figure 2.3. Avant de faire la mesure, le capteur (E+H DELTABAR S) est rempli de liquide, à l'aide d'une petite valve placée entre les deux extrémités du capteur. La précision du capteur de perte de pression est de 0,1 %. Les données obtenues du capteur sont digitales et enregistrées par le logiciel de transmission de HART (E+H COMMUWIN II).

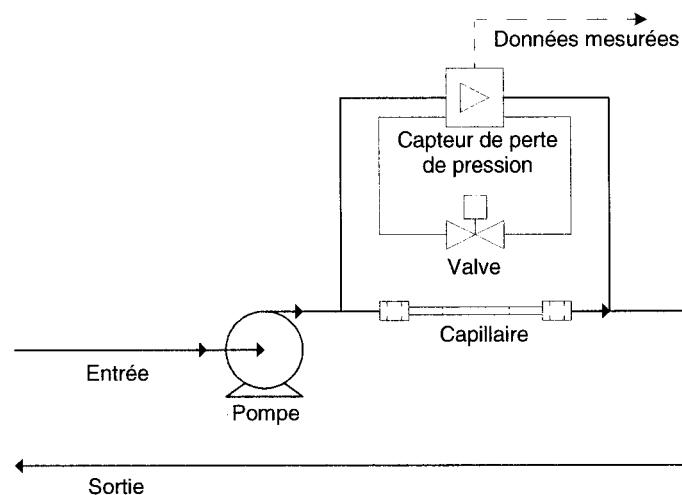


Figure 2.2 Schéma de l'appareil expérimental de mesure de la perte de pression

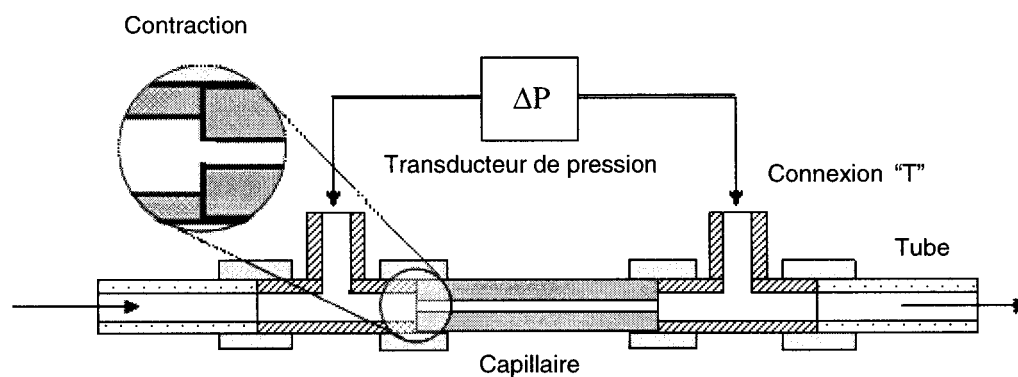


Figure 2.3 Schéma du capillaire

Les variables suivantes sont contrôlées afin d'obtenir une précision élevée, une bonne reproductibilité, et une sensibilité élevée de la sonde: le diamètre du capillaire; la longueur du capillaire et le débit du liquide passant par la sonde. Le contrôle de ces variables n'était pas réalisé dans les études précédentes (Abdallah, 2002 ; Picaro, 1995 ; Kratochvil, 1999).



La perte de pression de PEO, à une concentration et température données, est fonction de plusieurs variables. Pour les expériences présentées dans ce travail, on a fait varier uniquement le débit à travers la sonde ainsi que la vitesse du fluide dans le capillaire. Le calibrage de l'unité avec de l'eau en employant l'équation modifiée de Bernoulli a été déjà présenté antérieurement (Bednar et al., 2002). Cet article est présenté à l'annexe 1 de ce travail.

### **Mesure de la perte de pression**

Des solutions de PEO ont été pompées à une vitesse de rotation donnée à travers la sonde et la perte de pression a été enregistrée par le logiciel d'acquisition de données. Pour éviter le désenchevêtrement, qui a lieu lors du pompage de la solution de PEO à travers le capillaire de la sonde, le PEO n'a pas été recirculé (la solution passant à travers la sonde n'a pas été réutilisée pour la même mesure), à l'exception des mesures en ligne de perte de pression. On peut supposer que la recirculation de la solution a le même effet que l'agitation du PEO, il se désenchevêtre.

Toutes les expériences, sauf cas contraire identifié, ont été faites dans un bain maintenant la température à 21,3°C avec un capillaire de verre de 10 cm ayant un diamètre de 2,6 mm.

### **Efficacité de rétention du PEO**

L'efficacité de rétention du PEO a été estimée à partir des expériences sur un formeur à double-toile de laboratoire (FDTL). Cette machine de papier est conçue pour simuler la formation industrielle de la feuille dans des conditions de laboratoire. Une description plus détaillée du FDTL est faite au chapitre 3.

Une pâte thermomécanique (PTM) à 0,8% de consistance a été employée pour alimenter la machine, elle a été préparée à partir d'une pâte à 8% de consistance. Une solution diluée de cofacteur (CF) a été ajoutée à la pâte 45 minutes avant chaque expérience. Le PEO, qui a été dilué avant l'expérience à 0,02%, a été injecté à 5,18 m de la caisse d'arrivée, lui donnant un temps de séjour (ou un temps de contact avec la pâte avant d'atteindre la caisse d'arrivée) de 4,9 s.

Approximativement 110 L de PTM en suspension a été employé pour chaque expérience. À la fin de chaque expérience, toute l'eau blanche ainsi que le matelas fibreux ont été recueillis. Généralement la rétention des fines est alors calculée à partir d'un bilan de matière global en utilisant l'équation suivante:

$$R = \left( \frac{M_{fi} - M_{feb}}{M_{fi}} \right) \cdot 100\% \quad (4)$$

où:

R – Rétention des fines, %

Mfi – Masse des fines à l'entrée du système, g

Mfeb – Masse des fines dans les eaux blanches recueillies, g

Dans le présent cas, on a plutôt estimé la rétention en mesurant la quantité de fines dans le matelas fibreux et en la comparant à la quantité de fines à l'entrée du formeur à double-toile de laboratoire. La consistance de la pâte ainsi que la teneur en fines ont été analysées selon des procédures standard de Tappi (T240 et T261 respectivement).

## **2.4 Résultats et discussion**

Le schéma de procédé de préparation du PEO de la Figure 2.4 permet de comprendre les conditions de préparation, le stockage et l'injection du PEO.

La préparation du PEO se fait en discontinu (procédé en cuvette). Le PEO est habituellement vendu sous forme de granules solides. Le PEO solide est dissout à l'aide d'eau froide dans un réservoir de dissolution (DT) en agitant jusqu'à ce qu'il soit dissous, ce qui prend environ une heure. Typiquement, la concentration de PEO dans le DT est de 0,2%. Le PEO dissous est alors stocké pendant une certaine période (habituellement pas plus de 24 heures). Si le PEO est inutilisé au cours de cette période, il n'est plus efficace et doit être jeté, un nouveau batch doit être préparé.

Du réservoir de stockage (ST), le PEO est alors injecté à la ligne de pâte juste avant la caisse d'arrivée. Avant l'injection, le PEO est souvent dilué à une concentration d'environ 0,02% et est injecté à cette concentration avant la caisse d'arrivée (Gess, 1998).

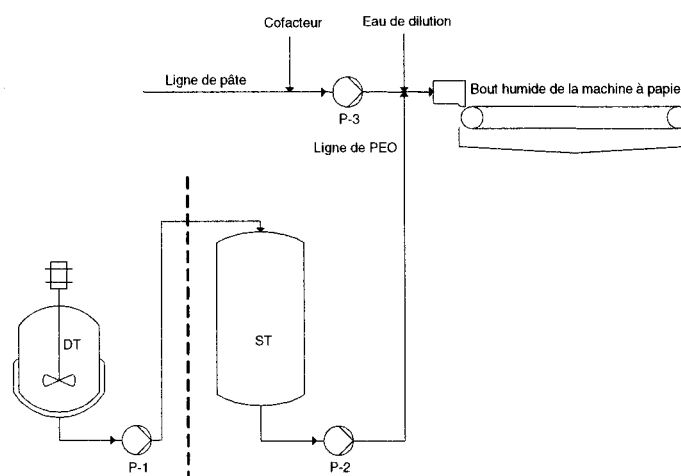


Figure 2.4 Schéma de la préparation du PEO. DT – réservoir de dissolution; ST réservoir de stockage; P-1, P-2 – pompe; P-3 – pompe de mélange.

### 2.4.1 Dissolution et désenchevêtrement du PEO

Tout d'abord, la perte de pression du PEO en fonction du débit pour différents états d'enchevêtrement de PEO a été déterminée (Figure 2.5). On a constaté qu'une heure d'agitation supplémentaire était nécessaire pour que le PEO atteigne un maximum, ce qui nous permet de suggérer qu'initialement, il y a des globules non dissoutes de PEO dans la solution. Cependant, ce comportement a été détecté seulement à des débits supérieurs à 150 mL/min, où la sensibilité des mesures est beaucoup plus grande. Au débit

maximum (350 mL/min) la différence entre le PEO fraîchement dissous (0 h d'agitation) et le PEO complètement dissous (12 h d'agitation) s'est avérée d'environ 60%.

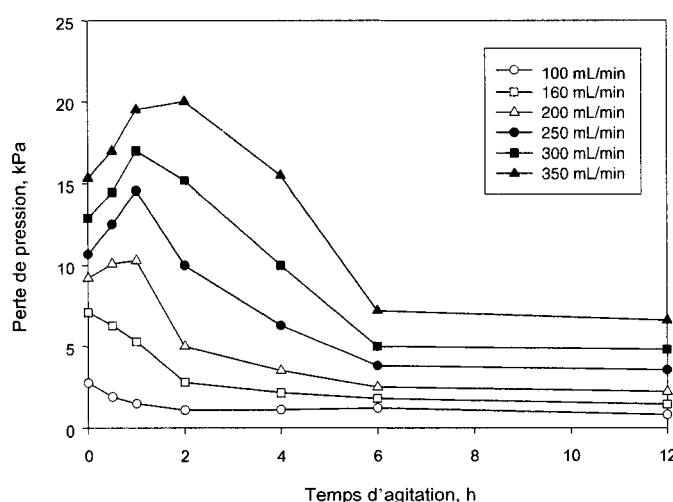


Figure 2.5 Perte de pression d'une solution de PEO à 0,2% en fonction du temps d'agitation (400 t/min) pour différents débits.

La cinétique de dissolution du PEO et le désenchevêtrement en fonction du temps d'agitation en prenant des mesures en continu de la perte de pression (avec un pompage en continu) ont été étudiés, afin d'explorer les possibilités de suivi et de contrôle d'un procédé à l'aide de la sonde. Pour les expériences montrées à la Figure 2.6, 1 g de PEO solide a été lentement ajouté à 500 ml d'eau en agitant de façon continue à 400 t/min pour trois différentes températures. À la première étape (jusqu'à environ 7 minutes), le PEO est présent sous deux formes: en tant que granules solides et comme enchevêtrements (I). La perte de pression augmente avec la dissolution de PEO, ainsi qu'avec l'augmentation de la concentration. On atteint un maximum où le PEO est complètement dissous et est présent sous sa forme la plus efficace – c'est-à-dire sous

forme de grands enchevêtrements (II). Si on continue à agiter la solution, une dégradation mécanique du PEO se produit et le PEO se désenchevêtre (III). Lorsqu'on atteint le plateau, le PEO doit être complètement dissous et désenchevêtré et seulement des chaînes libres de PEO devraient se trouver dans la solution (IV). À cette étape, le PEO se trouve sous sa forme la moins efficace à retenir les fines tel qu'on va le voir dans les chapitres suivants.

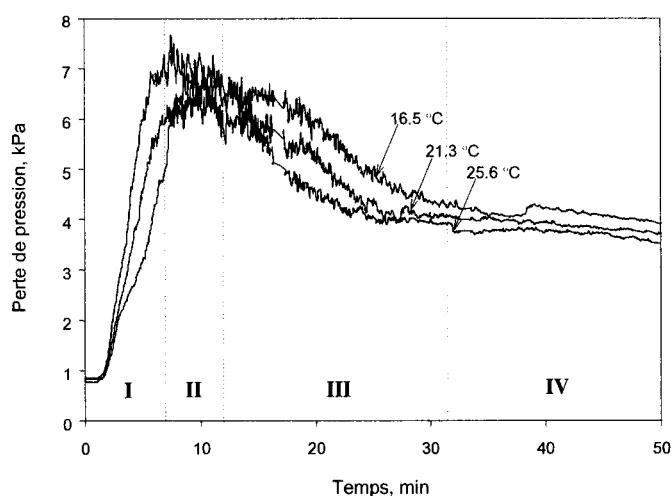


Figure 2.6 Cinétiques de dissolution du PEO durant son agitation (400 t/min) et son pompage (250 ml/min). I – dissolution du PEO, II – grands enchevêtrements, III – désenchevêtrement du PEO, IV – PEO désenchevêtré.

#### 2.4.2 Stockage du PEO

On a étudié l'effet du stockage du PEO sur la perte de pression sur une longue période de temps. On a constaté que pendant le stockage (température ambiante, aucune agitation) la perte de pression du PEO diminue légèrement (Figure 2.7). Ceci indique que les

enchevêtrements de PEO se dégradent, mécaniquement ou chimiquement, et ceci peut avoir un impact négatif sur l'efficacité de rétention du PEO.

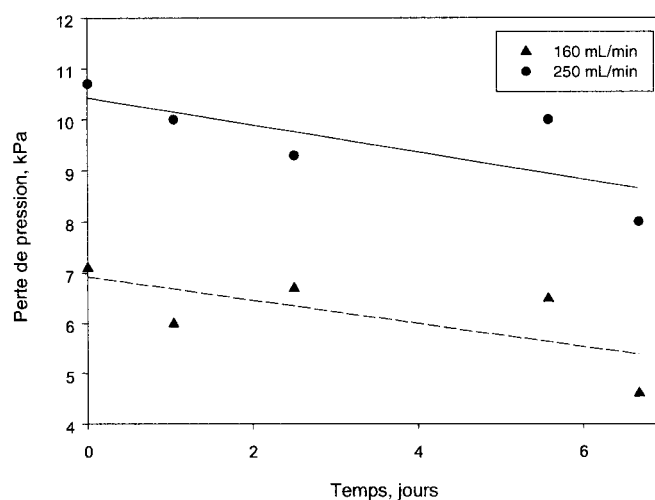


Figure 2.7 Perte de pression du PEO en fonction du temps de stockage mesurée à 160 et 250 mL/min.

### 2.4.3 Efficacité de rétention du PEO

Avec l'expérience discutée ci-dessus, on a montré que pendant la préparation et le stockage du PEO, la dégradation du PEO a lieu et peut être détectée en mesurant la perte de pression du PEO. La question à poser maintenant est : comment cette dégradation affecte-t-elle l'efficacité de rétention des fines du PEO?

Deux groupes identiques d'expériences sur le formeur à double-toile de laboratoire ont été exécutés afin d'étudier la relation entre la perte de pression du PEO et l'efficacité de rétention des fines du PEO. On peut voir sur la Figure 2.8 que le désenchevêtrement du

PEO a un effet négatif sur l'efficacité du PEO à retenir les fines. Un rapport très clair entre la perte de pression de PEO et l'efficacité du PEO à retenir les fines a été trouvée.

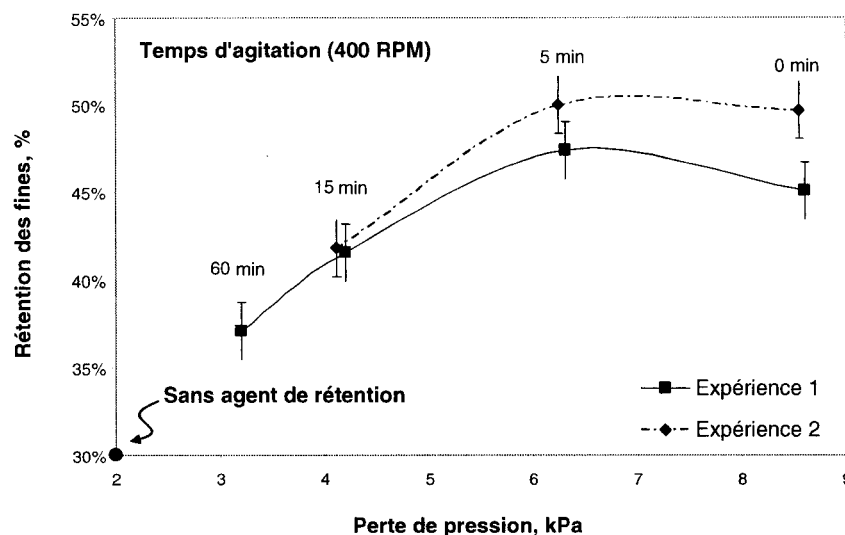


Figure 2.8 Rétention globale en fonction de la perte de pression d'une solution de PEO à 0,02% mesurée à 400 ml/min

L'erreur sur la rétention a été évaluée en utilisant l'erreur expérimentale estimée à l'aide du plan expérimental effectué au chapitre 4 pour identifier les paramètres importants influençant la rétention des fines sur le formeur à double-toile. Cette estimation a été jugée adéquate puisque les expériences effectuées pour générer les courbes de la Figure 2.8 sont similaires à celles faites pour le design expérimental.



## **2.5 Conclusions et implications pour la fabrication du papier**

On a montré que l'état d'enchevêtrement du PEO dépend des conditions hydrodynamiques pendant la préparation du PEO. Des observations semblables ont été également rapportées par des usines (Brine, 1992).

Une sonde expérimentale destinée à la caractérisation de l'état d'enchevêtrement du PEO en mesurant la perte de pression d'une solution de PEO passant par un fin capillaire a été développée. On a constaté que la perte de pression du PEO est un paramètre sensible pour détecter les changements du désenchevêtrement qui se produisent pendant la préparation, le stockage, et l'injection du PEO pour des conditions réelles de fabrication du papier. La théorie qui défend que le PEO hautement enchevêtré est un bon flocculant pour les fines (Abdallah, 2002 ; van de Ven et al, 2003) a été validée en mesurant l'efficacité du PEO à retenir les fines sur un formeur à double-toile de laboratoire. En utilisant un système de PEO-cofacteur, on a constaté que la quantité de fines retenues dans la feuille de papier dépend de l'état du PEO avant l'injection.

Puisqu'il existe une corrélation entre la perte de pression du PEO et son efficacité à retenir les fines sur un formeur à double-toile de laboratoire, la mesure de la perte de pression pourrait éventuellement être intégrée au suivi et au contrôle de l'efficacité du PEO à retenir les fines. Pendant la préparation, l'efficacité du PEO pourrait être maximisée en contrôlant les conditions hydrodynamiques. Son état d'enchevêtrement

pourrait être surveillé dans le réservoir de stockage et avant l'injection. La mesure de la perte de pression pourrait aussi aider au suivi de l'état d'enchevêtrement du PEO avant son injection et à l'optimisation du dosage de PEO pour assurer un maximum/optimum de son efficacité à retenir les fines dans le papier ainsi que qu'à une formation optimale de la feuille. Tous ces paramètres lorsque surveillés et contrôlés auraient éventuellement un impact positif sur l'économie du procédé et la qualité du papier produit. Il faut cependant évaluer l'impact des autres paramètres de préparation, tels que le dosage, le ratio PEO-cofacteur ou la concentration à l'injection sur la machine, sur le désenchevêtrement du PEO et son efficacité de rétention. Ceci sera fait au chapitre 4 du présent rapport à l'aide d'un design expérimental pour identifier les paramètres dominants et influençant le plus la rétention des fines.

### **CHAPITRE III BILAN DE MASSE SUR UN FORMEUR À DOUBLE-TOILE DE LABORATOIRE**

#### **3.1 Présentation<sup>2</sup>**

Au chapitre précédent, nous avons présenté l'appareil conçu pour mesurer la perte de pression d'une solution de PEO passant à travers un fin capillaire. Il a été observé que ce paramètre pouvait être utilisé pour détecter des changements dans l'enchevêtrement du PEO durant la préparation, le stockage et l'injection du polymère. Nous avons aussi établi une relation entre la mesure de perte de pression (ou l'état d'enchevêtrement du PEO) et l'efficacité du PEO à retenir les fines. L'appareil utilisé pour établir cette relation est le formeur à double-toile de laboratoire (FDTL) du Centre de Recherche en Pâtes et Papiers de l'université McGill. Dans le chapitre qui suit, une méthode permettant d'évaluer la capacité du formeur à double-toile de laboratoire à étudier les systèmes de rétention en vérifiant si les expériences effectuées sur celui-ci sont reproductibles a été mise au point. On y examine aussi la répartition des courants sortant de la machine et on compare avec des données proches des conditions d'usine.

---

<sup>2</sup> Cette section a pour but de faire le lien entre le chapitre et le mémoire

## **3.2 Introduction**

### **3.2.1 Notion de la rétention**

Le papier est un mélange de plusieurs composants, tels que les fibres, le bois, les charges organiques et inorganiques, les polymères de finition ou d'apprêt du papier, les agents de rétention ainsi que d'autres additifs qui facilite le bon fonctionnement de la machine à papier. La rétention des fines provenant des fibres de bois et des charges dans le papier est essentielle pour produire un papier de bonne qualité et pour réduire au minimum la pollution et le coût du processus de fabrication du papier. Ces matériaux ont également une tendance à être lavés par l'eau qui est drainée à travers la toile de la machine à papier. Une définition générale de la rétention donnée par Lancaster (1998) est la quantité de matière solide, suspendue, colloïdale ou dissoute, qui reste dans la feuille de papier en comparaison à la quantité de matière présente dans la pâte à l'entrée de la machine. Une définition pratique de la rétention est donnée par l'équation (1) au chapitre 2.

### **3.2.2 Mesures expérimentales de la rétention**

Il est difficile, en étudiant la rétention et la formation de la feuille dans un laboratoire de répliquer les facteurs dominants puisqu'ils agissent l'un sur l'autre sur une vraie machine

à papier. Des exemples de ces facteurs peuvent être la filtration hydrodynamique, la force de résistance de l'eau, la floculation et toute autre interaction particule-particule.

Les équipements les plus souvent utilisés pour évaluer les agents de rétention des fines, des charges ou de tout autre additif sont la formette, la formette dynamique et le DDJ (*dynamic drainage jar*) Lancaster (1998). Le formeur à double-toile de laboratoire (FDTL ou *LTWF* pour *laboratory twin-wire former*), conçu et construit par Hammock et al. (2000), a été développé à cette fin.

Un schéma du FDTL est donné à la Figure 3.1. Cinq sections principales peuvent être distinguées sur ce schéma: la section A est la section de la caisse d'arrivée et de l'injection de la pâte dans le formeur; tandis que les sections B, C et D regroupent tous les composants de la section de drainage: le rouleau formeur, les racles d'égouttage, les caisses aspirantes et finalement, le matelas fibreux est recueilli à la section E. La pâte est mélangée dans un réservoir muni d'un agitateur et est acheminée par une pompe à la caisse d'arrivée. Une boucle de recirculation au réservoir de mélange assure l'homogénéité de la pâte. Les lèvres de la caisse d'arrivée peuvent être ajustées pour obtenir différentes ouvertures et épaisseurs du jet d'injection. Les principales caractéristiques du FDTL sont présentées à la Table 3.1 et à la Figure 3.2 qui est une vue générale de l'équipement actuel.

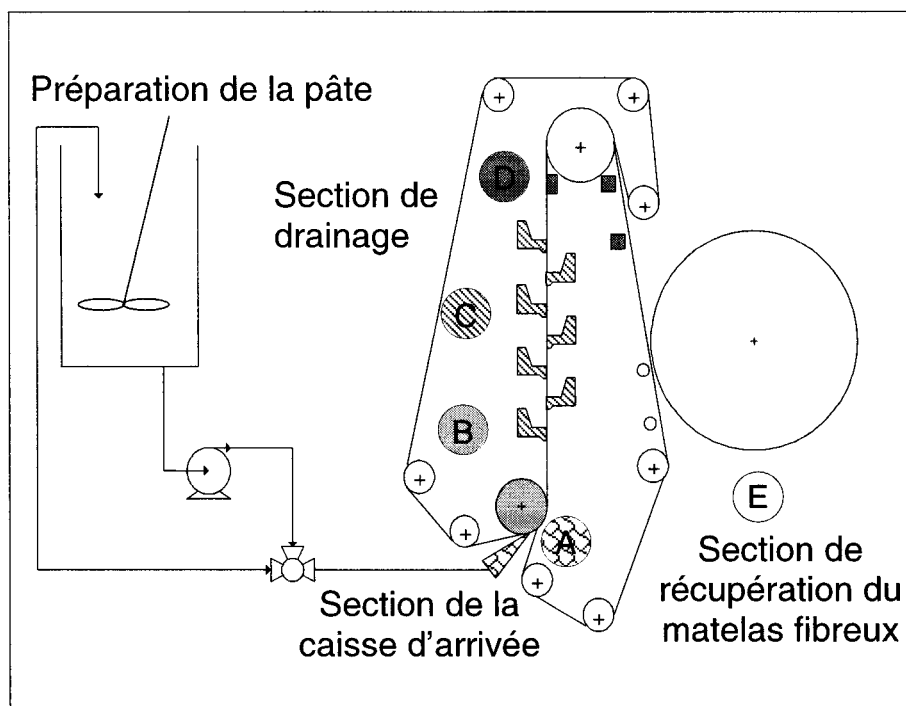


Figure 3.1 Schéma du formeur à double-toile de laboratoire

Tableau 3.1 Caractéristiques du FDTL

Volume du réservoir de mélange	330L
Vitesse de rotation de la pompe	945 RPM
Ouverture des lèvres de la caisse d'arrivée	6 mm
Diamètre du rouleau-formeur	0,15 m
Diamètre du rouleau leueur	0,60 m
Tension dans la toile	
- Pression, longue	425 kPa
- Pression, courte	220 kPa
- Tension, longue	2.01 kN/m
- Tension, courte	2.02 kN/m
Vitesse de la toile	
- Vitesse du moteur	1750 RPM
- Vitesse de la toile	5,31 m/s

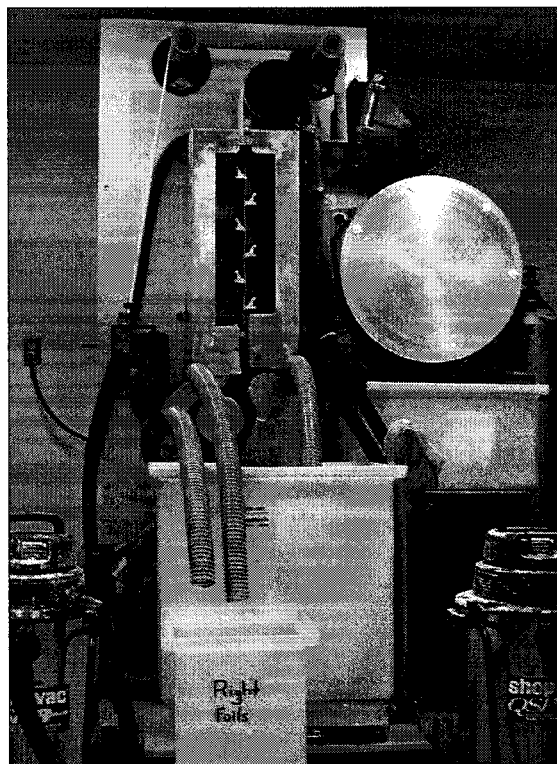


Figure 3.2 Vue d'ensemble du formeur à double-toile de laboratoire

Le FDTL peut fonctionner sous différentes conditions. La consistance de la pâte varie entre 0.3 et 1.2 %. La vitesse du jet peut atteindre 6 m/s ; la vitesse maximum de la toile se situe autour de 5 m/s (Pigeon, 2000). Le temps de contact entre l'agent de rétention et la pâte avant son introduction dans la caisse d'arrivée, qui a été déterminé comme étant un facteur important (Pigeon, 2000), peut être varié en changeant la longueur du tube entre le point d'injection et l'entrée de la caisse d'arrivée (Figure 3.3).

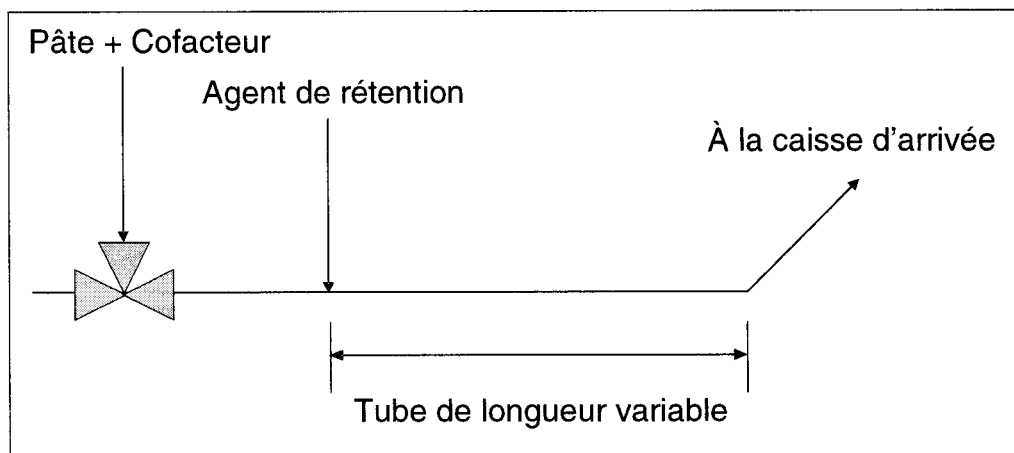


Figure 3.3 Injection de la pâte et du PEO/CF sur le FDTL

### 3.2.3 Étude de l'efficacité de rétention du PEO sur le FDTL

Dans cette étude, l'oxyde de polyéthylène a été utilisé comme un agent de rétention. Le PEO a été trouvé efficace dans les usines intégrées de pâte thermomécanique (PTM) et de papier journal, particulièrement dans les systèmes fermés et hautement contaminés. L'efficacité de rétention du PEO peut être utilisée sur le FDTL, qui a été créé pour simuler des conditions industrielles. C'est un outil idéal pour l'étude de l'efficacité de rétention puisqu'il est possible de recueillir toutes les eaux blanches des différentes parties du formeur et puisque faire des bilans de matière complets et rigoureux sur une machine à papier réelle est très laborieux (Donat, 2000) et ne peut pas être fait de façon routinière.

Cependant, les expériences doivent être effectuées en suivant une méthode précise pour produire des résultats fiables, le plus important étant que les bilans de matière doivent



être reproductibles. L'objectif de ce travail est d'effectuer des bilans de matière complets sur le FDTL et d'en vérifier la reproductibilité et la précision. Les valeurs obtenues sont aussi comparées à des données provenant d'une machine à papier réelle.

### **3.3 Travail expérimental**

#### **3.3.1 Expériences pour les bilans de matière**

Les bilans de matière ont été faits en utilisant une série de données d'une série d'expériences précédentes employées pour élaborer une relation entre la rétention des fines et la perte de pression du PEO (Bednar et al., 2003). Les expériences ont été faites en utilisant une pâte thermomécanique (PTM) prise après le réservoir de latence et ne contenant aucun additif et a été fournie par Papier Masson, une usine du Québec. Une pâte à une consistance de 0,8% a été préparée. Le pourcentage en fines dans la pâte a été mesuré à 26,4%. Une solution aqueuse de cofacteur (CF) a été ajoutée à la pâte dans le cuvier de préparation 1 heure avant chaque expérience à un dosage de 400 mg/kg de pâte séchée au four (*oven-dried* ou *od*). Une solution aqueuse de PEO à une concentration spécifique a été injectée à 5,18m de la caisse d'arrivée à un dosage de 50 mg/kg de pâte *od*. Ceci correspond à un temps de contact entre le PEO et la pâte avant l'injection sur le formeur de 4,9 s. À un débit de 4 kg/s de pâte, les paramètres (vitesse de la toile de 5,31 m/s, vitesse du jet de 4m/s et épaisseur du jet de 6mm) de la machine

ont été ajustés pour obtenir un grammage du papier de  $45 \text{ g/m}^2$ , une valeur typique dans les usines de papier journal. Quatre expériences différentes et répétées ont été effectuées. Les expériences ont été faites avec un PEO agité durant 4 temps différents : 0, 5, 15 et 60 min (expériences 1, 2, 3 et 4 respectivement). L'agitateur que l'on a utilisé était un agitateur à hélice et l'agitation s'est faite à 400 t/min. Le temps d'agitation a été mesuré après une dissolution complète du PEO, soit après 45 minutes, en suivant une méthode recommandée par Bednar et al. (2003). En changeant le temps d'agitation du PEO, l'état d'enchevêtrement du PEO est changé ainsi que son efficacité à retenir les fines. Il est important d'observer que ce choix affecte la reproductibilité des bilans de matière. Pour chaque expérience, l'eau blanche du rouleau formeur, des lames d'égouttage et des caisses aspirantes a été soigneusement recueillie ainsi que le matelas fibreux et les bilans de matières et la rétention des fines ont été déterminés. La consistance de la pâte et la teneur en fines ont été trouvées en suivant les méthodes standard Tappi T240 and T261 (Tappi, 1992).

### **3.3.2 Préparation du PEO**

Le PEO et le cofacteur utilisés pour les expériences sont respectivement un PEO-PDF 181001 et un Equipap 1344 fournis par E.Q.U.I.P International. Le poids moléculaire moyen du PEO employé est de  $5 \times 10^6$ . La solution de PEO est préparée selon la méthode suivante. Tout d'abord, une solution de PEO à 0,2% e a été fabriquée en

ajoutant 1 g de granules solides de PEO à 500 ml d'eau distillée dans un bécher de 1 l. La solution a été agitée par un agitateur à hélice à 400 t/min durant 45 min. Il a été observé qu'à la fin de l'agitation, la solution de PEO était claire et sans granules ou floccs. Cette solution désignée sous le nom de "PEO fraîchement dissous" (Bednar, 2003), est par la suite diluée à une concentration de 0,02% et directement injectée dans la ligne de pâte ou agitée durant 5, 15 ou 60 minutes de plus avant la dilution et l'injection. Lorsque le temps d'agitation est prolongé, la solution de PEO se désenchevêtre. Le degré de désenchevêtrement est estimé en mesurant la perte de pression du PEO avec un capteur développé par Bednar et al. (2002, 2003).

### **3.4 Résultats et discussion**

#### **3.4.1 Bilans de matières globaux**

Les résultats principaux sont présentés aux Tableaux 3.2 et 3.3. L'étalon est considérée comme étant une expérience sans agent de rétention et agit comme état de référence.

Tableau 3.2 Bilans de matière totaux

EXPÉRIENCE	MATIÈRE RÉCUPÉRÉE (%)						
	<i>Étalon (sans PEO)</i>	1	2	3	4	Moyenne (1-4)	Écart-type (%) (1-4)
Rouleau for. (B)	54,0	56,8	55,0	55,1	55,2	55,4	1
Racles (C)	16,6	14,8	14,6	14,9	15,3	15,1	0
Caisses asp. (D)	11,3	10,6	10,1	10,2	10,5	10,4	0
Matelas fibr. (E)	9,2	10,4	10,5	10,4	8,5	9,9	1
Récupération *	90,9	92,6	90,2	90,6	89,4	90,7	1

Tableau 3.3 Bilans de matière sur les fines

EXPÉRIENCE	FINES RÉCUPÉRÉES (%)				
	<i>Étalon (sans PEO)</i>	1	2	3	4
Rouleau for. (B)	41,5	32,3	31,6	36,8	37,9
Racles (C)	11,9	8,2	7,6	8,5	9,6
Caisses asp. (D)	10,3	7,2	7,1	7,6	8,4
Matelas fibr. (E)	27,3	43,9	43,9	37,8	32,9
Récupération *	90,9	92,6	90,1	90,6	88,7

\* La référence (100%) est la teneur en solides mesurée dans la caisse d'arrivée

Le Tableau 3.2 montre que globalement la même quantité de matière (fibres, fines et eau) est récupérée à chaque section du FDTL. L'écart-type est nul ou de 1 pour chacune des sections du formeur, ce qui indique que globalement on récupère à chaque fois la même quantité de matière dans chacune des parties du formeur. Ce résultat est vraisemblable puisque l'on récupère principalement de l'eau. Pour par exemple 100 kg de pâte utilisé lors de l'exécution de chaque expérience sur le FDTL, on a environ 800 g de solides (fibres et fines ; consistance de 0,8%) qui circule dans le système et environ 200 g de fines (26,4% de fines dans la pâte à l'entrée du FDTL). Pour les bilans totaux, il est donc justifié de comparer les 4 expériences entre elles bien qu'elles utilisent 4

solutions de PEO différentes et donnent des rétentions différentes. On récupère principalement de l'eau et la variation de la quantité de fines dans les différentes parties du formeur est noyée par la grande masse d'eau récupérée. Cependant, cette comparaison ne sera pas possible dans le cas des bilans sur les fines. De plus, on remarque que la récupération de la matière n'est pas totale et qu'il y a un déficit systématique de matière de  $9 \pm 1\%$  pour chaque expérience. On a observé également la présence d'un courant de retour à la caisse d'arrivée (*backflow*), i.e de fortes éclaboussures à l'entrée de la caisse d'arrivée tel que montré à la Figure 3.4 ci-dessous.

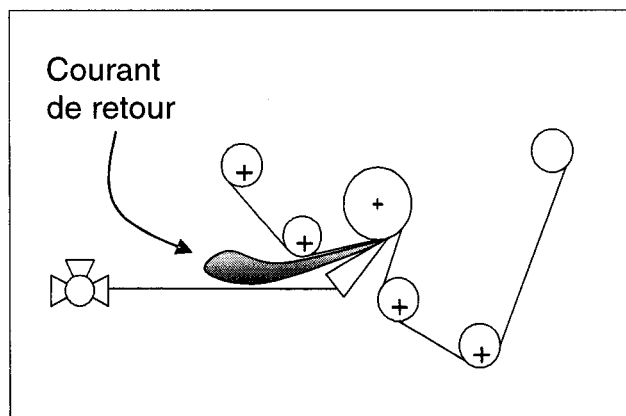


Figure 3.4 Illustration du courant de retour de pâte à la caisse d'arrivée

On a posé l'hypothèse que ce courant de retour à la caisse d'arrivée était probablement produit par le type de pâte employé ou l'état du PEO utilisé ou les paramètres utilisés puisque les travaux antérieurs ont montré qu'un bilan quasi parfait (100% de récupération) pouvait être fait autour du système avec différentes conditions (Hammock et al., 2000). De plus, la teneur en fines dans le cas présent est de 26,4%, alors que dans le cas d'Hammock *et al*, ils utilisent une pâte kraft contenant une quantité négligeable de

fines et aucun agent de rétention. Ce phénomène de perte a été observé pour toutes les expériences exécutées dans le cadre de ce travail sur le FDTL. Il n'a pas pu être évité malgré quelques ajustements mineurs sur le FDTL. En observant les opérations de la machine durant l'expérience, cela ne veut pas dire qu'il n'y a pas d'autre perte d'effluent systématique. On peut alors faire l'hypothèse que la matière non récupérée est en fait un courant additionnel qui ne peut être recueilli ou mesuré pour la configuration courante du formeur à double-toile.

En observant le Tableau 3.3 des bilans de matière sur les fines, on remarque que le pourcentage de fines mesuré dans le matelas fibreux diminue à mesure que le temps d'agitation augmente, laissant supposer qu'un PEO plus agité est plus désenchevêtré, donc moins efficace à retenir les fines dans le matelas. De plus si on compare ces mêmes pourcentages de rétention dans le matelas fibreux avec ceux provenant la relation rétention-perte de pression de la Figure 2.8 du chapitre 2, on observe la même tendance pour les valeurs de rétention ainsi que des valeurs de rétention semblables bien que calculées différemment. Finalement, on verra dans le chapitre 4 que le temps d'agitation n'est pas la variable principale faisant varier l'efficacité de rétention. On est donc en mesure de conclure que nos bilans de matière sur le FDLT sont reproductibles et précis.

### 3.4.2 Comparaison avec des résultats antérieurs

Il n'y a que quelques rapports sur les bilans massiques sur des formeurs à double-toile dans la littérature. On a identifié 2 séries de résultats qui sont disponibles à des fins de comparaison. La première série a été générée par Hammock (1998), la deuxième provient de données recueillies sur un formeur Gap Blade Beloit (Donat, 2000). Même s'il y a des différences significatives, le FDTL et la machine commerciale pourraient être comparés en terme de conditions d'opérations, d'échelle, de configurations d'équipement, de design et de courants correspondant. Les résultats sont donnés au Tableau 3.4.

Tableau 3.4 Bilans de matière globaux pour le FDTL et le formeur Beloit

<b>SECTION</b>	<b>FDTL <sup>a</sup> (%)</b>	<b>BELOIT FORMER (%)</b>	<b>FDTL <sup>b</sup> (%)</b>
Zone de formation	55	66	76
Racles	15	-	5
Caisse aspirante	10	8.5	16
Cylindre aspirant	-	21.5	-
Matelas fibreux	10	4	13
Courant de retour	10	-	-

<sup>a</sup> Résultats de ce travail

<sup>b</sup> Hammock, 1998

Les différences principales dans les bilans de matière entre les 2 appareils peuvent être observées dans la zone de formation et la zone du matelas fibreux. Un plus grand pourcentage massique (66%) sort de la zone de formation du formeur Beloit, en comparaison au formeur à double-toile (55% pour ce présent travail). Le drainage est

plus efficace dans le cas du formeur Beloit. Ceci peut être expliqué par le fait la vitesse du formeur Beloit est 3 fois plus élevée que celle du formeur à double-toile (914 m/min en comparaison à 300 m/min), ce qui permet une meilleure formation de la feuille. De plus, l'enlèvement de l'eau prend place sur une plus longue distance qu'un formeur à rouleau typique (Thorp, 1983). Aussi, s'il n'y avait pas un courant de retour sur le FDTL, la différence entre les pourcentages massiques sortant de la zone de formation des 2 machines aurait pu être plus petite. Le matelas fibreux constitue 4% de la masse pour le formeur Beloit, alors que 10% massique est recueilli dans le FDTL. Il s'agit encore une fois probablement d'un effet de drainage plus élevé sur le formeur Beloit.

### 3.5 Conclusions

L'objectif de ce travail a été dans un premier temps de démontrer que le formeur à double-toile de laboratoire est un outil approprié à l'étude de la performance d'un système de rétention basé sur le PEO. Il a été montré que les bilans de matières sur cette machine à papier expérimentale sont reproductibles et précis. La récupération massique sur le formeur a été trouvée supérieure à 90% et la perte de masse a été expliquée par un courant de retour à la sortie de la caisse d'arrivée. Cependant, le formeur ne reproduit pas les conditions réelles d'une machine à papier, il y a des différences significatives dues par exemple aux éléments de drainage différents (forces centrifuges dues à la vitesse de la toile, tension dans la toile et efficacité des caisses aspirantes). Mais le



FDTL est un outil pratique, économique et à petite échelle et peut être certainement utilisé pour simuler la formation de la feuille dans des conditions de laboratoire, par exemple, dans le cas présent d'effectuer des expériences préliminaires sur un système de rétention basé sur le PEO.

## **CHAPITRE IV ÉTUDE EXPÉRIMENTALE D'UN SYSTÈME DE RÉTENTION BASÉ SUR LE PEO EFFECTUÉE SUR UN FORMEUR DOUBLE-TOILE DE LABORATOIRE**

### **4.1 Présentation<sup>3</sup>**

Au chapitre précédent, il a été montré que le formeur à double-toile de laboratoire est un outil efficace pour étudier la performance d'un système de rétention basé sur le PEO car on peut obtenir sur cet appareil des bilans de matière reproductibles et d'une précision jugée adéquate. Afin de contrôler efficacement la rétention des fines dans le papier à l'aide du PEO, il est nécessaire d'avoir accès à des données quantitatives fiables sur le phénomène. Le troisième et dernier objectif de ce travail est d'identifier les variables qui influencent la rétention des fines sur le formeur à double-toile de laboratoire et de quantifier leur effet. Afin d'atteindre cet objectif, on a simulé la formation d'une feuille de papier sur le formeur en faisant varier les paramètres clés selon un plan statistique d'expériences. Le chapitre suivant présente ce travail et les résultats obtenus.

---

<sup>3</sup> Cette section a pour but de faire le lien entre le chapitre et le mémoire

## 4.2 Introduction

Dans l'industrie de la fabrication du papier, la fermeture des circuits pour réduire la consommation d'eau et le volume d'effluent demeure une préoccupation importante en dépit du progrès accompli durant les dernières décennies. La fermeture des circuits tend à augmenter la quantité de matières colloïdales et dissoutes (MDC) dans les réseaux d'eaux blanches de la machine de papier. La concentration des solides en suspension (fibres, fines et charges) varie et la rétention en est affectée. Le contrôle de la rétention est crucial pour les opérations de la machine à papier et pour la qualité de papier. La teneur en fibres dans le papier peut augmenter ses propriétés mécaniques et optiques. Les fines peuvent également améliorer le grammage du papier et par conséquent avoir une valeur économique.

Les polymères non ioniques et à haut poids moléculaire, comme l'oxyde de polyéthylène (PEO), sont considérés comme étant de bons agents de rétention. Utilisés en même temps qu'un cofacteur, ils créent des ponts avec les fibres et améliorent la rétention et le drainage (van de Ven et al., 1997). Des études précédentes ont montrées que l'efficacité de floculation du PEO dépend des conditions de préparation et de stockage, comme le temps d'agitation, la dilution et le cisaillement appliqué (Abdallah, 2002 ; van de Ven et al., 2003). Ce comportement du PEO peut être expliqué par la présence d'enchevêtrements qui sont formés lorsque le PEO se dissout dans l'eau. Lorsque ces enchevêtrements sont soumis à une dilution, à une agitation ou à un cisaillement, ils se

séparent en enchevêtrements plus petits et éventuellement en chaînes libres (Abdallah, 2002 ; van de Ven et al., 2003). Ce procédé de désenchevêtrement a été étudié et caractérisé par Bednar *et al* (2003).

Puisque leur taille a diminué, les petits enchevêtrements et les chaînes libres de PEO ne peuvent plus former des ponts entre les fibres puisqu'ils ne sont plus enchevêtrés, ce qui induit une perte d'efficacité de floculation. L'efficacité de floculation du PEO dépend de son désenchevêtrement, qui peut être estimé en mesurant la perte de pression occasionnée par l'écoulement d'une solution de PEO dans un rétrécissement ou un élargissement de conduit (Abdallah, 2002 ; van de Ven et al., 2003). La perte de pression est reliée à la viscosité extensionnelle et au poids moléculaire du PEO. Ainsi puisque le désenchevêtrement est également directement relié à la viscosité extensionnelle et au poids moléculaire, de petites différences dans le désenchevêtrement peuvent être identifiées en mesurant la perte de pression. Une sonde expérimentale pour caractériser l'état de désenchevêtrement du PEO a été construite (Bednar, 2002). Elle est basé sur la mesure de la perte de pression créée par une solution aqueuse de polymère passant à travers un capillaire fin. Il a été montré par la suite que la perte de pression mesurée était reliée à l'efficacité du PEO à retenir les fines (Bednar, 2003).

L'efficacité du PEO à retenir les fines a été obtenue en effectuant des expériences sur le formeur à double-toile de laboratoire (FDTL) construit à l'Université McGill. La machine à papier de laboratoire est utilisée pour simuler les conditions de formation

d'une feuille à petite échelle (Hammock et al, 2000). Une description détaillée de la machine ainsi que de ses opérations peuvent être trouvées au chapitre 3. L'étude quantitative de la rétention sur le FDTL implique qu'il est possible de contrôler les conditions expérimentales et de reproduire les résultats. On a montré au chapitre 3 que les bilans de matières effectués autour de la machine étaient reproductibles et précis.

L'objectif de cette étude est d'identifier les paramètres qui ont un effet dominant sur l'efficacité du PEO à retenir les fines dans la feuille de papier en utilisant le FDTL et en quantifiant ces effets. Ceci a été fait en effectuant un plan expérimental statistique et en trouvant un modèle valide de l'efficacité de rétention du PEO pour un espace expérimental déterminé.

### **4.3 Travail expérimental**

#### **4.3.1 Préparation et désenchevêtrement du PEO**

On a d'abord préparé premièrement une solution à 0,2% de PEO fraîchement dissous selon la procédure décrite au chapitre 3. Le PEO fraîchement dissous est ensuite dilué par la suite à différentes concentrations (0,01% ou 0,02%) et est directement injecté dans la pâte ou agité durant 16 heures additionnelles. Lorsque le temps d'agitation est allongé, la solution du PEO se désenchevêtre. Le degré de désenchevêtrement est

déterminé indirectement en mesurant la perte de pression avec la sonde expérimentale décrite au chapitre 2.

#### 4.3.2 Design expérimental

Quatre facteurs ont été identifiés comme étant susceptibles d'influencer la rétention des fines: le temps d'agitation de la solution de PEO lors de sa préparation, la concentration du PEO lors de l'injection dans la pâte, le ratio cofacteur (CF) à PEO et le dosage de PEO. Pour chaque paramètre, une modalité maximum et minimum ont été choisies pour déterminer l'espace expérimental à l'intérieur duquel des variations significatives de rétention pourraient être observées. Ces modalités sont données au Tableau 4.1.

Tableau 4.1 Variables d'entrée et modalités associées

<b>SYMBOLE</b>	<b>VARIABLE</b>	<b>MODALITÉ (-)</b>	<b>MODALITÉ (+)</b>
S	Temps d'agitation	1 heure	16 heures
D	Concentration	0,01%	0,02%
C	Ratio CF/PEO	2:1	12:1
P	Dosage	30 mg/kg pâte od	80 mg/kg pâte od

Deux modalités extrêmes ont été choisi pour le temps d'agitation du PEO afin d'observer l'effet de son désenchevêtrement. Pour 1 heure d'agitation, le PEO dit fraîchement dissous, se présente sous forme de gros enchevêtrements tandis qu'après 16 heures d'agitation, le PEO devrait être complètement dissous et désenchevêtré. Les concentrations dans la solution mère de PEO habituellement utilisée dans les usines

varient entre 0,01% et 0,02%, ainsi ces limites ont été choisies comme modalités extrêmes dans le cas présent. Les modalités du ratio CF/PEO ont été fixées à 2:1 et 12:1. Dans les usines, le ratio CF/PEO se situe généralement entre 8:1 et 12:1 ; il a donc été anticipé qu'à 2 :1, l'effet du ratio serait significatif. Finalement, les modalités pour le dosage du PEO ont été choisies sur la base de la relation entre la rétention des fines et la concentration du PEO obtenue par Pigeon (2000).

Un plan factoriel fractionnel a été choisi pour identifier les paramètres dominants et estimer l'importance de leur effet sur la rétention des fines. Il s'agit d'un plan à 8 essais et une répétition du plan de 8 essais. La diminution de 16 essais d'un plan factoriel complet au plan factoriel fractionnel qui requiert la moitié des essais expérimentaux a été possible en faisant l'hypothèse qu'un des 4 paramètres (S, D, C ou P) peut être représenté par l'interaction des 3 autres (Clément, 2003). Les 8 combinaisons et leurs efficacités de rétention associées ainsi que leurs pertes de pression sont données au Tableau 4.2.

Ce design est approprié pour déterminer les paramètres qui ont un impact significatif sur la variable réponse et pour effectuer une analyse exploratoire. En répétant le plan (les 8 essais), il est aussi possible d'évaluer l'erreur expérimentale. Éventuellement, un autre plan expérimental comme un plan factoriel complet ou un design Box-Benkhen pourrait être utilisé pour établir un modèle et optimiser la variable réponse en fonction des paramètres critiques identifiés dans l'étape de triage (Clément, 2003 ; Box *et al*, 1978)

Il est recommandé lorsqu'on fait un design expérimental, d'effectuer les essais dans un ordre aléatoire pour équilibrer les effets des variables qui ne sont pas contrôlées (Box *et al*, 1978). Dans le cadre de ce travail, à cause de contraintes d'ordre pratique, comme, par exemple, l'ajustement de la concentration du cofacteur dans la cuve de préparation de la pâte, les essais n'ont pas pu être faits dans un ordre rigoureusement aléatoire. Cependant, à l'examen des résultats, on peut émettre l'hypothèse que cette dérogation n'a pas affecté la validité des résultats.

La rétention est calculée en prenant le rapport entre la quantité de fines qui se trouve dans le matelas fibreux et la quantité de fines dans la pâte fournie à la caisse d'arrivée. Les quantités de fines sont déterminées par lavage d'un échantillon à travers un tamis 200-mesh. La taille des pores du tamis laisse passer les fines, mais pas les fibres.

## **4.4 Résultats et discussion**

### **4.4.1 Efficacité de rétention du PEO**

L'efficacité du PEO à retenir les fines, la variable réponse, a été tabulée pour chaque essai expérimental et la perte de pression a été mesurée pour chaque solution de PEO différente utilisée dans ces essais. Les résultats expérimentaux, la rétention tabulée et la perte de pression mesurée sont présentés au Tableau 4.2. La perte de pression a été prise



à la concentration et au degré d'agitation correspondant au point d'injection du PEO (0,01 ou 0,02 % et 1 ou 16 heures, respectivement).

Tableau 4.2 Combinaison des paramètres pour chaque essai avec valeurs de perte de pression et d'efficacité de rétention du PEO

EXP #	COMBINAISONS	SÉRIE 1		SÉRIE 2		MOYENNE	
		$\Delta P_1$ (kPa)	EFF. RET. <sub>1</sub> (%)	$\Delta P_2$ (kPa)	EFF. RET. <sub>2</sub> (%)	$\Delta P$ (kPa)	EFF. RET. (%)
1	[-S -D -C -P]	5,70	13,76	6,50	11,58	6,10	12,67
2	[-S +D -C +P]	7,30	25,03	8,30	28,09	7,80	26,56
3	[-S +D +C -P]	7,50	21,32	8,50	20,93	8,00	21,12
4	[-S -D +C +P]	5,90	34,76	6,40	35,85	6,15	35,31
5	[+S +D -C -P]	3,68	13,14	3,80	11,81	3,74	12,47
6	[+S -D -C +P]	3,18	25,35	3,26	19,27	3,22	22,31
7	[+S -D +C -P]	3,23	21,81	3,28	21,53	3,26	21,67
8	[+S +D +C +P]	3,66	35,67	3,86	36,03	3,76	35,85
Étalon	Aucun PEO utilisé	-	12,82	-	-	-	12,82

Note: les signes + et – désignent les modalités maximales et minimales pour chacune des variables

En regardant les valeurs moyennes de rétention, on note que celle-ci varie de 12,47% à 35,85%, ce qui est un intervalle large et très significatif. Il est intéressant de comparer la gamme des valeurs de rétention obtenues pour les premières expériences préliminaires effectuées par Bednar *et al* (2003) aux valeurs de rétention de cette nouvelle série d'expériences. Dans les séries de Bednar *et al*, les valeurs de rétention sont plus hautes que dans ce travail; elles changent de 35% à 50% pour des conditions qui ont été incluses dans l'espace expérimental du présent travail. Cette grande différence inattendue peut être expliquée par ce qui suit :

- deux lots différents de pâte ont été employés pour les deux séries d'expériences exécutées à un intervalle de 8 mois et les variations de la qualité de la pâte, telle que le pourcentage des fines, la qualité de l'eau employée pour préparer la pâte ou l'âge de la pâte, peuvent expliquer les variations entre les résultats.
- même si le PEO et le cofacteur utilisés ont été les mêmes dans les deux séries d'expériences, l'âge du produit peut être aussi un facteur qui expliquerait les différences dans les valeurs de rétention.
- le courant de retour à la caisse d'arrivée (*backflow*) traité dans le chapitre 3 semblait plus important dans le présent travail et a pu affecter la consistance des eaux blanches dans les zones B, C et D du FDTL. Puisque la rétention est calculée par bilan de matière, une haute consistance d'eau blanche produit une plus petite rétention.

On distingue très clairement dans les valeurs moyennes de perte de pression deux groupes de traitement. Les 4 premiers essais ont les valeurs de perte de pression les plus hautes, dans un intervalle qui varie de 6,10 à 8,00 kPa. Les 4 derniers essais ont des valeurs de perte de pression plus basses, entre 3,22 et 3,76 kPa.

On peut supposer que la différence entre les deux groupes est causée par le paramètre S, le temps d'agitation. Dans le premier groupe (modalité -S), le temps d'agitation est court (1 heure), le PEO est fraîchement dissous, la perte de pression est élevée comme prévu et le polymère devrait avoir un maximum d'efficacité. Il y a aussi deux sous-

groupes,  $\Delta P = 6,10$  et  $6,15$  ou  $\Delta P = 7,80$  et  $8,00$  et ceci pourrait être l'effet de la modalité D, la concentration utilisée:  $0,01$  et  $0,02\%$ . Dans le second groupe (modalité +S), où le temps d'agitation est élevé (16 heures), les valeurs de perte de pression sont beaucoup plus basses, le PEO étant complètement dissous et désenchevêtré et conséquemment devrait avoir une plus petite efficacité de rétention. Cependant, il n'y a pas de corrélation entre  $\Delta P$  et la rétention puisque la réponse dans les groupes est pratiquement la même. D'autres facteurs qui n'ont aucun effet sur  $\Delta P$  semble noyer les effets du désenchevêtrement.

#### **4.4.2 Analyse statistique**

Dans la section précédente, il a été observé que les paramètres ou les combinaisons de paramètres choisis influencent la rétention des fines. Dans cette section, on examine quelle est la variable qui a le plus d'effet parmi les 4 variables étudiées et un modèle de ces effets sur la variable de réponse est élaboré. Ceci a été fait par le biais d'une analyse statistique qui consiste en 3 grandes étapes : observation de la variabilité de la variable de réponse, identification des effets principaux, obtention d'un modèle et validation du modèle par une analyse des résidus.

### Variabilité de la réponse

Un excellent outil pour analyser la variation de l'efficacité de rétention est la carte de contrôle. Une carte de contrôle donne une image du comportement d'un processus. Elle permet d'analyser les fluctuations d'une variable réponse  $Y$ , de quantifier ces fluctuations, d'appréhender les deux sources de variabilité (celle qui est causée par l'opération normale du procédé et celle qui est causée par des anomalies dans le procédé) et de déterminer si le processus est stable. Un processus est dit stable lorsque les paramètres de la distribution (population) de  $Y$  sont constants et ne changent pas dans le temps (Clément, 2003). Les cartes de contrôle sont basées sur le principe que toute quantité variable comme la moyenne  $\bar{X}$  et l'étendue  $R$  suit une distribution statistique, en générale normale, si les fluctuations de cette quantité sont aléatoires. Ainsi, si seulement la fluctuation aléatoire est présente dans une expérience ou un procédé alors pour un contrôle sur la moyenne des échantillons, nous savons que 99,74% des moyennes d'échantillons se situent dans l'intervalle suivant :

$$[\bar{X} - 3\sigma_{\bar{X}}, \bar{X} + 3\sigma_{\bar{X}}]$$

où

$$\bar{X} = \mu,$$

la moyenne de la population

(5)

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}},$$

l'écart - type de la distribution des  
moyennes d'échantillons

Les cartes les plus communes sont celles de la moyenne ( $\bar{X}$ ) et celle des étendues ( $R$ ). Une carte  $\bar{X}$  est un graphique sur lequel sont pointées les valeurs des moyennes des échantillons successifs prélevés de l'expérience. Cette carte permettra de détecter les variations du niveau moyen des observations (tendance). Une carte  $R$  (ou carte de l'étendue) est un graphique sur lequel sont illustrées les valeurs des étendues des échantillons successifs prélevés de l'expérience/du procédé. Cette carte permettra de détecter les variations à l'intérieur même de chaque échantillon (dispersion). Une expérience est dit stable si la tendance et la dispersion sont statistiquement constantes dans le temps. En admettant que la caractéristique mesurée est stable, le calcul des limites de contrôle permet d'obtenir avec précision une marge de variation permmissible de la statistique concernée. Cette marge de variation correspond à une fluctuation naturelle ou sans conséquence (c'est la variabilité normale du procédé mentionnée plus haut). Les limites de contrôle statistiques (lignes pointillées (LSC et LIC) et pleines sur la Figure 4.1) sont calculées tel que montré au Tableau 4.3.

Tableau 4.3 Limites de contrôles pour la moyenne  $\bar{X}$  et l'étendue  $R$

Carte	Ligne centrale (LC)	Limite supérieure de contrôle (LSC)	Limite inférieure de contrôle (LIC)
$\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + A_2 \bar{R}$	$\bar{X} - A_2 \bar{R}$
$R$	$\bar{R}$	$D_4 \bar{R}$	$D_3 \bar{R}$

Les valeurs  $A_2$ ,  $D_3$  and  $D_4$  sont obtenues du Tableau 4.4 et sont fonction du nombre de répétitions du plan d'expériences (dans ce travail,  $n=2$ ). L'intervalle [LIC ; LSC] est une

estimation d'un intervalle de 3 écart-types de chaque côté de la moyenne des étendues tel que décrit à l'équation (5).

Tableau 4.4 Paramètres constants A2, D3 et D4

<b>n</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>A<sub>2</sub></b>	1.880	1.023	0.729	0.572	0.483	0.419	0.373	0.337	0.308
<b>D<sub>3</sub></b>	0	0	0	0	0	0.076	0.136	0.184	0.223
<b>D<sub>4</sub></b>	3.268	2.874	2.282	2.114	2.004	1.924	1.864	1.816	1.777
<b>d<sub>2</sub></b>	1.128	1.693	2.059	2.326	2.534	2.704	2.847	2.970	3.078

L'écart-type estimé du procédé,  $\hat{\sigma} = \bar{R} / d_2$

Pour le cas présent, la carte  $\bar{X}$  est constituée des valeurs moyennes de la variable réponse (i.e de la moyenne des résultats d'un essai et de sa répétition pour chaque jeu de 8 expériences). Il y a aussi un histogramme des moyennes qui indique combien de valeurs de rétention sont localisées dans chaque intervalle. Par exemple, 2 essais (moyennes de 2 résultats) ont une valeur de rétention de 10 et 15%. La même stratégie est appliquée pour la carte R, mais cette fois-ci avec les valeurs des étendues. Les résultats sont présentés à la Figure 4.1.

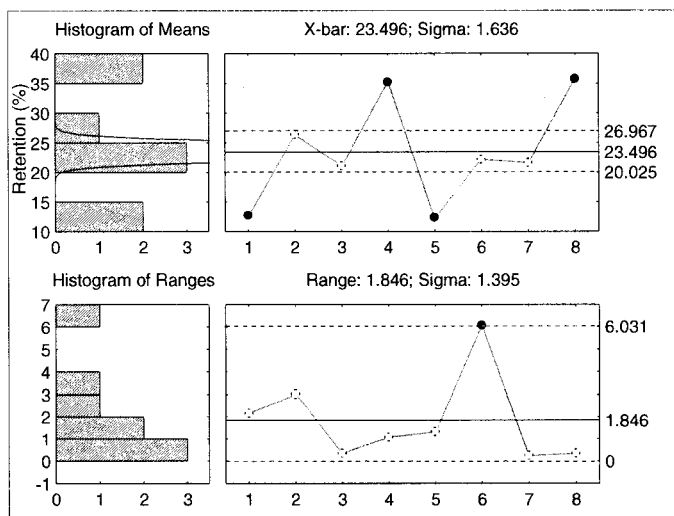


Figure 4.1 Cartes de contrôle de la rétention des fines

La carte  $\bar{X}$  montre que l'efficacité de rétention varie d'essai en essai. La moyenne de rétention est de 23,50% et la variabilité, de 1,64%. La LC en ligne pleine est calculée comme étant la moyenne des essais. La LIC est de 20,03% et la LSC est de 26,97%. Il y a de la variabilité entre chaque paire d'essais expérimentaux, ce qui implique que les 4 paramètres choisis influencent la rétention. L'histogramme des moyennes révèle qu'il y a 4 essais qui se retrouvent à l'intérieur des limites statistiques de contrôle, soit entre 20 et 27% de rétention et 4 autres essais qui sont distribués uniformément de part et d'autre des limites statistiques de contrôle. Les valeurs des étendues sont situées à l'intérieur des limites de contrôle également, ce qui signifie que l'erreur expérimentale du procédé est stable et homogène d'essai en essai. La LIC dans ce cas là est de 0% et la LSC, de 6,03%. Cependant, la valeur moyenne du 6<sup>e</sup> essai se situe sur la limite supérieure de contrôle. Les deux valeurs de rétention prises individuellement (25,35% et 19,27%) sont plus éloignées l'une de l'autre que les valeurs de rétention des autres essais (Tableau 4.2) et conséquemment l'étendue par rapport à la moyenne est plus grande. Il

s'agit d'une fluctuation anormale dû à une situation anormale qui s'est produite lors des expériences. On peut supposer qu'il y a eu erreur de l'expérimentateur lors de la prise des données, que pour une des deux expériences le FDTL n'a pas fonctionné normalement, etc.

### **Identification des effets principaux**

Une charte de Pareto est utilisée pour identifier les paramètres qui ont un effet statistiquement significatif sur la variable de réponse. Il dépeint la contribution relative des variables à la variable de réponse, la rétention des fines. Un estimé des effets est calculé avec le test de distribution t en fonction de l'écart-type estimé des expériences, le degré de liberté n, qui est simplement le nombre d'observations N moins le nombre de paramètres, et la valeur de t trouvée dans une table de Student pour un niveau de signification de 95% (ou une valeur-p plus petite que 0,05) selon l'équation suivante :

$$t * sd(effect) = t * \frac{2\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} \quad (6)$$

La valeur-p représente une probabilité. Un p plus petit que 0,05 indique que l'on peut s'attendre à ce que le résultat soit attribuable au hasard moins de 5 fois sur 100. On peut aussi dire que le résultat est "significatif au seuil de 5% ". La valeur-p est étroitement liée à l'intervalle de confiance.



L'intervalle de confiance est une estimation de l'écart entre la plus petite valeur (limite inférieure) et la plus grande valeur (limite supérieure) de résultat possible. Plus l'intervalle est petit, plus le résultat rapporté a des chances d'être précis. Lorsqu'un intervalle de confiance est de 95 % cela signifie qu'il y a 95 % de chances que le véritable résultat de l'étude se situe à l'intérieur des limites identifiées.

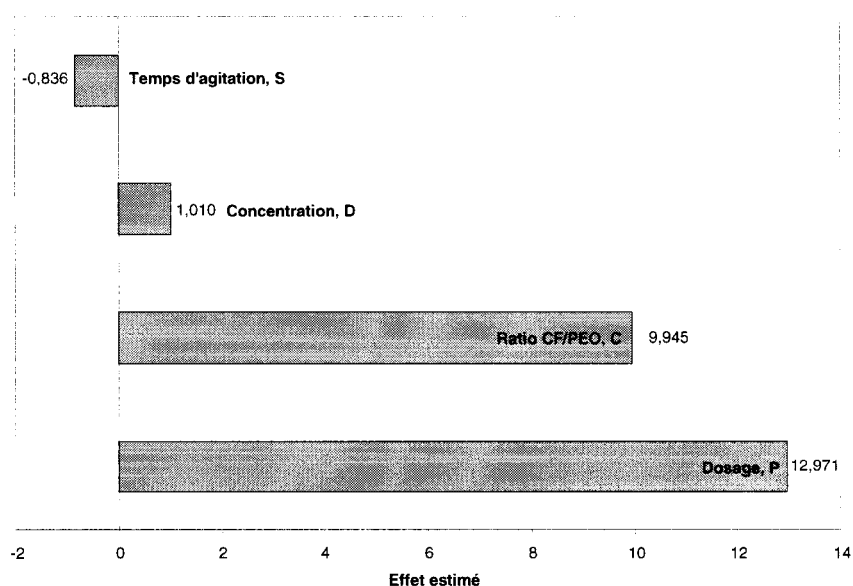


Figure 4.2 Charte Pareto

La Figure 4.2 montre que tous les paramètres influencent la variable de réponse (aucun effet n'est égal à 0), mais plus particulièrement le dosage du PEO et le ratio CF/PEO sont les deux paramètres qui influencent le plus l'efficacité de rétention des fines, puisqu'ils ont une valeur-p plus petite que 0,05, tel que présenté au Tableau 4.5 et puisqu'ils ont les valeurs d'effets estimés par l'équation 6 les plus grands, soit 12,971 et 9,945 respectivement. En augmentant le dosage du PEO et le ratio CF/PEO, on

augmente aussi l'efficacité de rétention des fines. Il est intéressant d'observer que l'effet estimé est négatif dans le cas du temps d'agitation du PEO (-0,836), c'est-à-dire que plus le temps d'agitation augmente, plus l'efficacité de rétention diminue. En effet, si on augmente le temps d'agitation du PEO, on désenchevêtre le PEO et celui-ci devient moins efficace à retenir les fines sur la machine à papier.

La table ANOVA (Tableau 4.5) indique que  $R^2$  est élevé. Le coefficient de corrélation  $R^2$  est une valeur qui donne une appréciation de la qualité d'un ajustement par moindres carrés aux données originales, ce qui implique que les 2 paramètres dominants (le dosage du PEO et le ratio CF/PEO) compte pour une grande proportion dans la variation de la réponse.

La variabilité de l'efficacité de rétention des fines est obtenue si la valeur de l'erreur est divisée par la somme des moindres carrés. Cette variabilité de la réponse due à l'erreur expérimentale est uniquement de 2,4%. Ainsi, 97,6% de la variabilité est due aux effets occasionnés par les paramètres choisis.

Tableau 4.5 Analyse de la variance (ANOVA)

Facteurs	ANOVA; Variable réponse: rétention <b>R<sup>2</sup>=0.976</b> MS Résiduel=3.3999969				
	SS	df	MS	F	p
S	2.814	1	2.8140	0.8277	0.389537
D	4.111	1	4.1108	1.2091	0.303504
C	398.701	1	398.7011	117.2661	<b>0.000005</b>
P	678.212	1	678.2118	199.4759	<b>0.000001</b>
S par D	5.371	1	5.3708	1.5797	0.244263
S par C	7.659	1	7.6591	2.2527	0.171777
S par P	4.111	1	4.1108	1.2091	0.303504
<b>Erreur</b>	<b>27.200</b>	8	3.4000	-	-
<b>Total SS</b>	<b>1128.178</b>	15	-	-	-
<b>Variabilité</b>	<b>0.024</b>	-	-	-	-

Symboles: R: coefficient de corrélation; SS: sommes des carrés; df: degré de liberté; MS: moindres carrés; F: F-test; p: valeur-p

La signification de la table ANOVA est expliquée au Tableau 4.6

Tableau 4.6 Signification d'une table ANOVA

Facteurs	SS	Df	MS	F	p
<b>Traitements T</b> (S, D, C, P et interactions)	SST	k-1, où k est le nombre de répétition	SST / (k-1)	MST/MSE	Trouvée avec une distribution-T pour un niveau de sign. De 95%
<b>Erreur E</b>	SSE	N-k, où N est le nombre d'observations	SSE / (N-k)	-	-
<b>Total SS</b>	SST + SSE	N-1	-	-	-
<b>Variabilité</b>	Erreur/Total SS	-	-	-	-

L'analyse statistique a été conclue par une analyse des résidus, qui permet de déterminer la présence d'anomalies dans les résultats. Pour ce faire, on a dû vérifier trois hypothèses :

- la normalité de la distribution
- l'homogénéité de l'erreur expérimentale
- l'indépendance des essais

La Figure 4.3 montre le graphique de probabilité des résidus (*probability plot of residuals*).

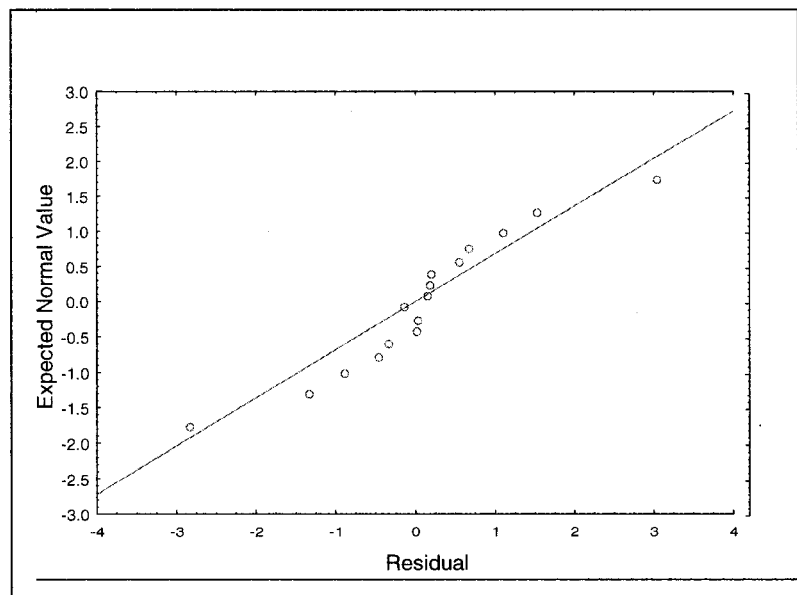


Figure 4.3 Distribution normale des résidus

La distribution des résidus semble approximativement normale. La variabilité des résidus est donc minimale.

La Figure 4.4 montre le graphique des résidus en fonction des valeurs prédites de la rétention par le modèle.

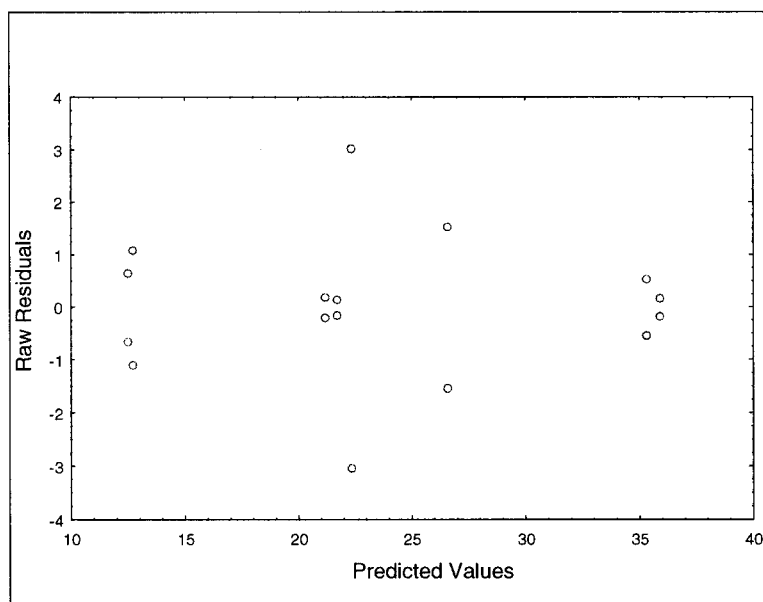


Figure 4.4 Uniformité de l'erreur expérimentale

Les points du graphique semblent se situer dans une bande horizontale, tout en étant bien distribués, ce qui laisse présager une uniformité de l'erreur expérimentale.

En conclusion, il est possible de dire que les paramètres choisis pour ce plan expérimental influencent l'efficacité de rétention du PEO. L'analyse de variance a indiqué que plus de 97% de la variabilité est dû aux paramètres et non à l'erreur

expérimentale. De plus, on a trouvé que le dosage du PEO et le ratio CF/PEO ont un effet statistiquement significatif sur l'efficacité de rétention. L'analyse des résidus a révélé que la distribution était gaussienne et que l'erreur était homogène. Un modèle approximant l'efficacité du PEO à retenir les fines sur le FDTL peut être maintenant élaboré.

#### 4.4.2 Modélisation

Dans le cas d'une expérience de triage avec des facteurs à deux modalités, deux genres de modèles peuvent être élaboré : un modèle d'effets principaux ou un modèle qui tient en compte les effets principaux et leurs interactions. Dans le cas présent, un modèle d'effets principaux nous a semblé le plus approprié puisque aucune des interactions entre les quatre paramètres n'a été trouvée statistiquement significative, comme montré au Tableau 4.5, puisque pour toutes ces interactions, la valeur-p est supérieure à 0,05. Le modèle d'effets principaux dans le cas présent a la forme suivante :

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_A + \beta_2 X_B + \beta_3 X_C + \beta_4 X_D \quad (7)$$

Dans l'équation,  $X_A$ ,  $X_B$ ,  $X_C$  and  $X_D$  sont les valeurs codées des facteurs A, B, C, D et  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$ ,  $\beta_4$  sont les coefficients des effets estimés. Le modèle actuel est donné ci-contre :

$$Y = 23.5 + 6.5P + 5.0C + 0.5D - 0.4S \quad (8)$$

La variable Y est la variable réponse, l'efficacité de rétention du PEO. P, C, D et S sont les variables codées (modalités +/- 1), P représentant le dosage du PEO ; C, le ratio CF/PEO ; D, la concentration dans la solution du PEO et S, le temps d'agitation du PEO.

Pour chaque combinaison ou essai expérimental, on peut générer le Tableau 4.7 suivant :

Tableau 4.7 Comparaison entre les valeurs expérimentales et les valeurs calculées de la rétention

Combinaisons	Rétention, % (moyenne expérimentale des 2 répétitions)	Rétention, % (calculée avec le modèle)	Erreur relative, %
[-S -D -C -P]	12,67	12,01	5,24
[-S +D -C +P]	26,56	25,84	2,70
[-S +D +C -P]	21,12	23,00	8,90
[-S -D +C +P]	35,31	34,81	1,40
[+S +D -C -P]	12,47	12,18	2,35
[+S -D -C +P]	22,31	23,99	7,53
[+S -D +C -P]	21,67	21,15	2,41
[+S +D +C +P]	35,85	34,99	2,40

Il est possible de voir que dans 5 des 8 cas, l'erreur entre les valeurs expérimentales et calculées est inférieure à 3% et dans tous les cas, elle est inférieure à 9%.

Le modèle peut être utilisé pour générer des graphiques contours de la rétention en fonction des deux paramètres dominants : le dosage du PEO et le ratio CF/PEO. Un exemple est donné à la Figure 4.5. Pour ce cas, le temps d'agitation du PEO a été fixé à

1 heure et la concentration du PEO, à 0,02%. On peut observer qu'on peut augmenter l'efficacité de rétention d'un système en augmentant le ratio CF/PEO plutôt que le dosage du PEO, ce qui peut être économiquement avantageux étant donné le rapport des prix des deux produits. Il est important de dire que ce modèle est valide pour un espace expérimental donné et déterminé par les modalités extrêmes de chacun des 4 facteurs.

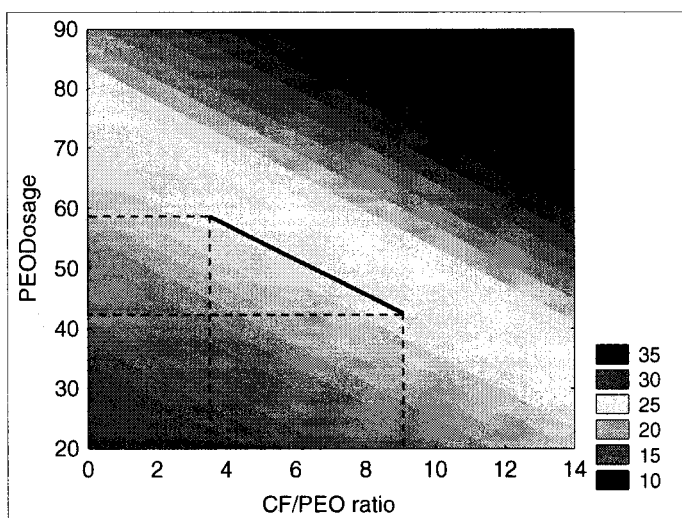


Figure 4.5 Graphique contour de l'efficacité de rétention des fines

## 4.5 Conclusions

Un design expérimental a été effectué sur le formeur à double-toile de laboratoire pour identifier les paramètres-clés affectant l'efficacité du PEO à retenir les fines parmi quatre facteurs choisis. Le dosage du PEO et le ratio CF/PEO ont été identifiés comme étant les paramètres ayant un impact statistiquement significatif sur l'efficacité de rétention des fines. Un modèle a été développé. Également, la génération d'un



graphique contour de la variable réponse a permis de montrer que pour un PEO fraîchement dissous (agité 1 heure) et injecté à une concentration de 0,02%, il est possible d'obtenir une rétention équivalente en augmentant le ratio PEO/CF et en diminuant le dosage du PEO. Ce comportement peut être économiquement avantageux. La qualité de superposition des prédictions données par le modèle et des résultats expérimentaux était bonne, les différences entre les valeurs calculées expérimentales et calculées étant inférieures dans la majorité des cas à 3%. L'état d'enchevêtrement du PEO est la variable qui a le moins d'effets dans ces expériences bien que la mesure de la perte de pression dans le capteur ait indiqué une différence significative d'état physique du polymère pour les 2 modalités. Il semble que les effets hydrodynamiques lors de l'injection de la pâte dans une machine à double-toile tendent à niveler l'état physique du polymère.

## CONCLUSION

La rétention des fines dans le papier est nécessaire pour avoir un papier de bonne qualité. Les fines, avec l'aide d'un agent de rétention, peuvent se lier aux fibres et rendent ainsi le papier beaucoup plus résistant. Dans les usines de papier journal, on utilise fréquemment un système de rétention basé sur l'oxyde de polyéthylène (PEO) en relation avec un cofacteur phénolique. On a observé par contre que le PEO se désenchevêtrait lors de sa préparation et des expériences de laboratoire ont montré que cela réduit son aptitude à la floculation. La diminution du grammage, l'augmentation de la vitesse de la machine et la fermeture des circuits d'eaux blanches sont d'autres facteurs qui diminuent la rétention. Dans ce travail, on a choisi de se concentrer plus particulièrement sur les mécanismes de rétention des fines dans la zone de formation d'un formeur à double-toile de laboratoire et d'étudier la manière de se comporter de l'oxyde de polyéthylène qui agit en tant qu'agent de rétention.

Dans un premier temps, le désenchevêtrement du PEO a été étudié en utilisant une sonde expérimentale permettant de suivre l'évolution de la dissolution et du désenchevêtrement du PEO en fonction de la préparation et des conditions de stockage du PEO. Le principe de la sonde est basé sur la mesure de la perte de pression, créée lorsqu'une solution aqueuse de polymère passe à travers un capillaire fin avec une géométrie définie.

Les cinétiques de dissolution et de désenchevêtrement en fonction des conditions de préparation ont été mesurées. Les résultats ont montrés que la perte de pression peut effectivement être utilisée pour caractériser l'état de désenchevêtrement du PEO et peut être utile pour prédire l'efficacité de rétention du PEO. Une forte relation entre la perte de pression du PEO et l'efficacité de rétention a été trouvée dans des conditions proches à celles retrouvées en usine sur un formeur à double-toile de laboratoire. Plusieurs stratégies pour suivre et contrôler la dissolution du PEO et l'efficacité du PEO à retenir les fines ont été également présentées.

Dans un deuxième temps, on a déterminé si le formeur à double-toile de laboratoire était un appareil utilisable pour étudier les systèmes de rétention basés sur le PEO. Il a été trouvé que les expériences faites sur ce FDTL étaient reproductibles et donnaient des résultats précis. Cette conclusion a été obtenue en effectuant de simples bilans de matières sur le formeur. Plus de 90% de toute la masse entrant dans le formeur a été récupéré et la perte constante de matière a pu être expliquée par l'effet d'éclaboussement derrière la caisse d'arrivée (courant de retour de pâte ou *backflow*). Ce formeur à double-toile de laboratoire a été désigné comme un outil à petit échelle très efficace pour simuler la zone de formation d'une vraie machine à papier et peut être utilisé pour étudier les systèmes de rétention des fines.

Finalement, dans le but d'identifier les paramètres-clés influençant l'efficacité du PEO à retenir les fines, une série d'expériences suivant un design statistique a été effectuée sur

le FDTL. Les variables étudiées étaient la concentration du PEO, le temps d'agitation du PEO durant sa préparation, le dosage et le ratio CF/PEO. Le dosage de PEO et le ratio CF/PEO ont été trouvés comme étant les deux paramètres ayant le plus d'impact sur l'efficacité de rétention des fines. Un modèle donnant les effets et interactions entre ces paramètres a aussi été développé.

## REFERENCES

ABDALLAH, Mohammad. 2002. *The Role of Polymer Entanglements in Polyethylene Oxide (PEO) Induced Fines Flocculation*. 173p. PhD Thesis in Chemical Engineering, McGill University.

BEDNAR, F., ABDALLAH, M., PÉRIN-LEVASSEUR, Z., VAN DE VEN, T.G.M., PARIS, J. 2002. «Détermination expérimentale de l'état d'enchevêtrement de l'oxyde de polyéthylène», Québec : Congrès Francophone du Papier, Prét. 85-88.

BEDNAR, F., PÉRIN-LEVASSEUR, Z., VAN DE VEN, T.G.M., PARIS, J. 2003. «Polymer Dissolution Sensor», Montreal : 89<sup>th</sup> annual meeting, PAPTAC, Proc. 376-380.

BRINE, S.R., BRAUER, R.M., WISEMAN, N. 1992. «Polyethylene Oxide Makedown Procedures and Their Effect on Paper Machine Retention». *Appita*, 45:2. 118-120.

CLEMENT, B. 2003. «Planification et analyse statistique d'expériences», École Polytechnique de Montréal, Canada

DONAT, V., PARIS, J., VAN DE VEN, T.G.M. 2000 «Simulation of a Paper Machine Twin-Wire Forming Section». *JPPS*. 26:8 284-288.

HAMMOCK, C., GARNIER, G. 2000. «Laboratory Twin Former, part I: Design and Performance», *Tappi* 83:10. 61.

HAMMOCK, C. 1998 *Design and Development of a Laboratory Scale Twin-Wire Sheet Former*. 73p. M. Sc. Thesis in Chemical Engineering, McGill University.

KRATOCHVIL, D., ALINCE, B., VAN DE VEN, T.G.M.. 1999. «Flocculation of Clay Particles with Poorly and Well-Dissolved Polyethylene Oxide», *J. Pulp Paper Sci.* 25:9. 331-335.

KIRK-OTHMER ENCYCLOPEDIA OF CHEMICAL TECHNOLOGY 1982. John Wiley & Sons, Third Edition. Volume 18. p623.

LANCASTER, E.P. 1998. «Retention: Definitions, Methods and Calculation, Retention of Fines and Fillers During Papermaking». In *Retention of Fines and Fillers during Papermaking*. Sous la direction de J. M. Gess, Ed. Atlanta: TAPPI Press. Atlanta. 1-353.

PICARO, T., VAN DE VEN, T.G.M.. 1995. «The Flow of Dilute Polyethylene Oxide Solutions Through Packed Beds of Pulp Fibre» *J. Pulp Paper Sci.* 21:1. 13-17.

PIGEON, C. 2000. *The Effect of a PEO-cofactor-bentonite System on the Retention and Drainage in Papermaking*. 88p. M. Sc. Thesis in Chemistry, McGill University.

POLVELARI, M., VAN DE VEN, T.G.M. 1996. «Dilute Aqueous Poly(ethylene oxide) Solutions : Clusters and Single Molecules in Thermodynamic Equilibrium». *J. Phys. Chem.* 100. 13687-13695.

POLVERARI, M., VAN DE VEN, T.G.M. 1994. «Dynamic Light Scattering of Suspensions of PEO-coated Latex Particles». *Colloids Surf. A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 86. 209-228.

SMOOK, G.A. 2002. *Handbook for Pulp and Paper Technologists*. 3<sup>rd</sup> Edition. Canada: Angus Wilde Publications. 425p.

TAPPI. 1992. T 240 om-88. Consistency (concentration of pulp suspensions).

TAPPI. 1992. T 261 om-90. Fines fraction of paper stock by wet screening.

THORP, B.A. 1983 «Principle of Twin-Wire and Multiple-Wire Formation and Drainage Pulp and Paper Manufacture ». *Tappi*. Volume 7 : Paper Machine Operations. 216-236.

VAN DE VEN, T.G.M. 1997. «Mechanisms of Fines and Filler Retention with PEO-Cofactor Dual Retention Systems», *JPPS* 23:9. 447-451.

VAN DE VEN, T.G.M., QASAIMEH, M. A., PARIS, J. 2003. «PEO-induced flocculation of fines: effects of PEO dissolution conditions and shear history». Montreal: 5<sup>th</sup> International Paper and Coating Chemistry Symposium. Preprints. 53-57.

XIAO, H., PELTON, R., HAMELEC, A. 1996. «Retention Mechanisms for Two-Component Systems Based on Phenolic Resins and PEO or New PEO-Copolymer Retention Aids». *J. Pulp Paper Sci.* 22:12. 475-485.



## ANNEXES

### Annexe 1 Publication du Congrès Francophone du Papier (2002)

#### DÉTERMINATION EXPÉRIMENTALE DE L'ÉTAT D'ENCHEVÊTREMENT DE L'OXYDE DE POLYÉTHYLÈNE.

**Frantisek Bednar<sup>1,2</sup>, Mohammad Abdallah<sup>2</sup>, Zoé Périn-Levasseur<sup>1</sup>, Theo G. M. van de Ven<sup>2,3</sup>, Jean Paris<sup>1,3</sup>**

1. École Polytechnique  
C.P. 6079, succ. Centre-ville  
Montréal, QC Canada H3C 3A7

2. Université McGill, Montréal  
3420 University Street  
Montréal, QC Canada H3A 2A7

3. Paprican  
570 Boul. St-Jean  
Pointe-Claire, QC Canada H9R 3J9

#### RÉSUMÉ

Les systèmes de rétention PEO-cofacteur sont de plus en plus employés dans les usines de fabrication de papier journal. La raison principale en est la nature non ionique du PEO, ce qui le rend plus efficace que des polymères chargés dans des procédés fermés très contaminés. Cependant, on a observé que le PEO perd de son efficacité de rétention avec le temps, principalement parce que ses molécules se désenchevêtrent sous l'effet du cisaillement, de la dissolution, de l'entreposage et de l'injection. Cette diminution d'efficacité est attribuée à l'augmentation du désenchevêtrement. Le but de cette recherche est le développement d'un appareil d'observation de l'enchevêtrement du PEO durant sa préparation et son entreposage basé sur la mesure de la perte de pression du PEO, perte créée lorsque le PEO en solution aqueuse passe à travers un capillaire fin. Dans cet article, nous présentons la construction, la calibration et l'analyse de sensibilité de l'appareil.

#### ABSTRACT

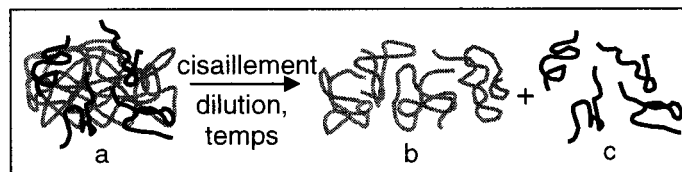
PEO-cofactor systems are increasingly utilized as retention aid systems in newsprint mills. One of the reasons for this is that the non-ionic nature of PEO (polyethylene oxide), which makes it more effective in highly contaminated closed systems than charged polymers. However, it has been reported that PEO loses its fines retention efficiency with time, mainly due to disentanglement of its molecules during shearing – dissolution, storage, and injection. This decrease in efficiency is ascribed to increasing disentanglement. The scope of this work is the development of a portable unit for on-line monitoring of PEO entanglement during preparation and storage based on the measurement of the PEO pressure drop, creating when passing a PEO aqueous solution through a capillary. In this work we present the construction, calibration, and sensitivity testing of the unit.

## INTRODUCTION

La rétention des fines est une étape importante dans la fabrication du papier puisque celles-ci sont essentielles à la qualité du papier. Les fines permettent aux fibres de créer des liens afin de rendre la feuille de papier plus résistante. Puisque les fines diffusent de la lumière incidente, elles jouent un rôle important dans l'opacité de la feuille. Plusieurs systèmes de rétention de fines sont disponibles aujourd'hui. Les systèmes basés sur l'oxyde de polyéthylène (PEO) avec un cofacteur (CF) sont de plus en plus répandus dans les usines de papier journal. La raison principale en est la nature non ionique du PEO, ce qui le rend plus efficace que des polymères chargés dans des procédés fermés très contaminés. De plus, le PEO améliore le fonctionnement de la machine. En revanche, le surdosage peut nuire grandement à la formation du papier.

Un dosage adéquat est nécessaire afin d'atteindre une rétention optimale, ce qui est souvent difficile étant donné que le PEO perd de sa viscosité et donc de son efficacité de floculation avec le temps (Réf. 1, 2). On a d'abord pensé que la perte de viscosité du PEO était causée par une diminution du poids moléculaire résultant d'une dégradation due à l'oxydation, et que la vitesse d'oxydation était augmentée par la présence de traces de chlore, de peroxydes, de permanganate ou de persulfates, et de certains ions de métaux de transition tels que le  $\text{Cu}^{2+}$ , le  $\text{Cu}^{3+}$ , le  $\text{Fe}^{3+}$  et le  $\text{Ni}^{2+}$ . La combinaison de ces agents peut donner lieu à des pertes de viscosité considérables. En revanche, plusieurs stabilisants sont disponibles pour minimiser cette dégradation par oxydation (Réf. 3).

De récentes études ont toutefois démontré que le PEO est présent en solution aqueuse sous deux formes à l'équilibre : sous forme d'agrégats et de chaînes libres de PEO (Réf. 4, 5). Avant d'atteindre son équilibre, le PEO peut également être présent dans des agglomérats hors équilibre. Ce micro-état du PEO dépend fortement du cisaillement. Des agglomérats sont présents pendant les étapes initiales de la dissolution du PEO lorsque l'on prépare une solution claire. Une agitation intensive causera le désenchevêtrement de ces agglomérats. Les chaînes enchevêtrées de PEO se comportent comme des macromolécules ayant un poids moléculaire plus élevé et sont plus efficaces quand elles sont ajoutées à la suspension de fibres (Réf. 5). Le désenchevêtrement du PEO est illustré à la figure 1: de larges molécules (1a) se dissocient afin de former des molécules enchevêtrées plus petites (1b) ainsi que des chaînes libres de PEO (1c).



**Figure 1. Désenchevêtrement du PEO a) grandes molécules enchevêtrées; b) petites molécules enchevêtrées; c) chaînes libres de PEO**

Ce travail porte essentiellement sur la mesure et le contrôle de l'efficacité du PEO visant à atteindre une rétention de fines optimale sur une machine à papier. On a réalisé un appareil de laboratoire pour la mesure du degré de désenchevêtrement du PEO, et on continue à travailler pour intégrer le signal mesuré dans la conception et le contrôle d'un système de préparation de PEO. Cet appareil produit une mesure de la perte de pression observée qui dépend entre autres de la viscosité extensionnelle et du poids moléculaire du PEO. De cette manière, nous pouvons déceler de faibles différences dans le désenchevêtrement du PEO, puisqu'il est directement lié à la viscosité extensionnelle et au poids moléculaire.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### Matériel

Oxyde de polyéthylène (EQUIP) avec  $M_w \approx 8,000,000$  (PEO)

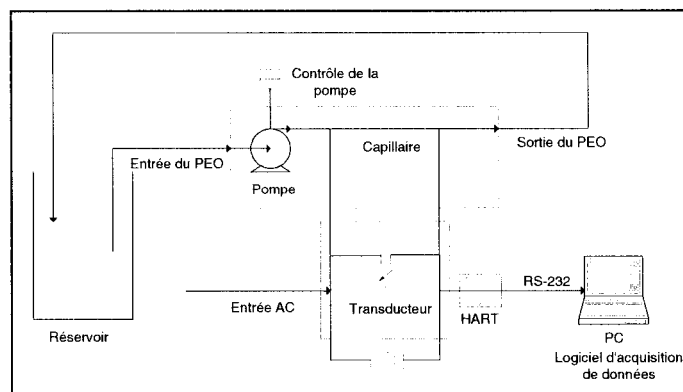
### Méthode

#### *Préparation du PEO et désenchevêtrement*

On a préparé des solutions aqueuses de PEO de 0,2 % massique en ajoutant graduellement des granules de PEO à de l'eau déminéralisée sous une faible agitation produite par un agitateur à palettes à 100 t/min. On a observé que le PEO se dissout complètement en une heure environ, ce que l'on appelle du « PEO fraîchement dissous ». Ensuite, on a agité le PEO pendant un certain temps dans un agitateur à palettes à 300 t/min. Le désenchevêtrement du PEO se produit pendant cette agitation et la viscosité est considérablement réduite. À la fin de cette étape, le PEO est supposé « complètement dissous ».

#### *Appareil de mesure de la perte de pression du PEO*

On a conçu et construit un appareil portable pour mesurer la perte de pression qui se produit lorsque l'on passe une solution aqueuse à travers un capillaire fin qui est inséré dans un tube ayant un diamètre plus large. Le schéma de l'unité est présenté à la figure 2.



**Figure 2. Schéma de l'appareil mesurant la perte de pression**

Une solution aqueuse de PEO est pompée d'un réservoir à l'aide d'une pompe péristaltique (MASTERFLEX L/S) à travers un capillaire et est renvoyée dans le réservoir. La vitesse de rotation de l'entraînement de la pompe est contrôlée de manière digitale avec une précision de 0,25 %. On a calibré la pompe suivant une procédure standard basée sur la mesure du poids d'un volume d'échantillon qui est transporté par la pompe pendant un certain laps de temps. La différence de pression entre les deux extrémités du capillaire est mesurée par un transducteur à pression différentielle. Avant la mesure, on remplit le transducteur (E+H DELTABAR S) avec le liquide étudié à l'aide d'une petite vanne qui se trouve entre les deux sorties du transducteur. La précision du transducteur à pression différentielle est de 0,1 % de l'intervalle couvert. Les données produites par le transducteur sont digitales et sont enregistrées par le logiciel de communication HART (E+H COMMWIN II).

On a utilisé des capillaires en verre de 1,8 mm, 2,2 mm et 2,6 mm de diamètre et de 5 et 10 cm de longueur pour des fins de calibrage.

### Calculs de perte de pression pour l'eau

On a employé l'équation de Bernoulli modifiée pour calculer les valeurs théoriques de la chute de pression de l'eau (Réf. 6):

$$p_2 - p_1 = \rho \left( 4f \frac{L}{D} + K_c + K_e \right) \frac{V^2}{2}$$

où:

$p_2 - p_1$	différence de pression
$\rho$	viscosité de l'eau
$f$	facteur de friction ( $fL=16/Re$ pour $Re < 3000$ , $fT=0.0791/Re^{1/4}$ pour $Re > 3000$ (Réf. 6))
$L$	longueur du capillaire
$D$	diamètre du capillaire
$K_c$	facteur de contraction ( $K_c=0.4(1-S_a/S_b)$ )
$K_e$	facteur d'expansion ( $K_e=(1-S_b/S_a)^2$ )
$S_a$	aire de la section du capillaire
$S_b$	aire de la section du tube

La figure 3 présente le schéma d'un capillaire fin placé dans un tuyau ayant un diamètre plus large.

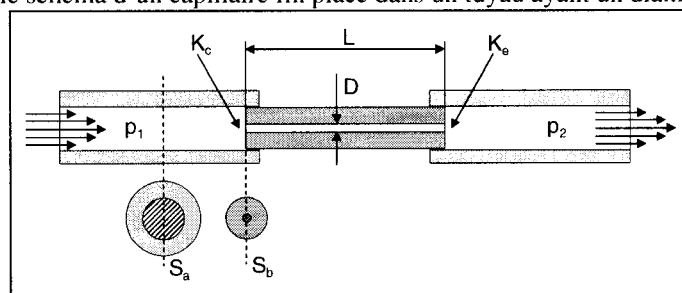


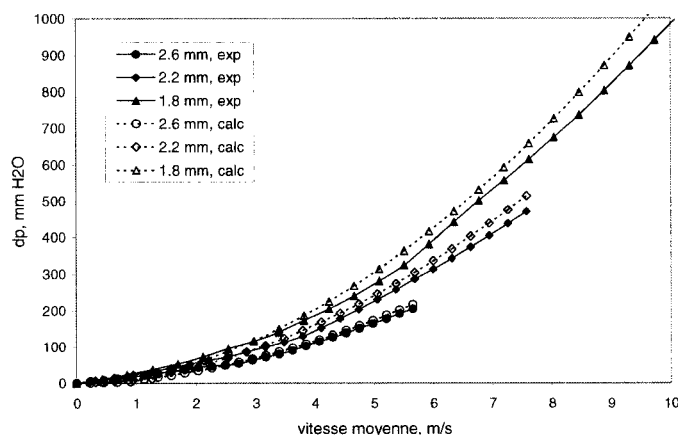
Figure 3. Schéma du capillaire mince placé dans le tube ayant un plus grand diamètre

### RÉSULTATS ET CONCLUSION

On a construit un appareil de laboratoire pour mesurer la perte de pression de PEO. Afin de déterminer si l'unité était suffisamment sensible à la détection d'un changement de pression causé par le désenchevêtrement du PEO, on a ensuite effectué plusieurs séries d'expériences. D'abord, on a calibré le système avec de l'eau à l'aide de capillaires de différentes longueurs et divers diamètres. Ensuite, on a réalisé des tests avec une solution aqueuse de PEO à 0,2 % à différents états de désenchevêtrement.

#### Calibration de l'appareil

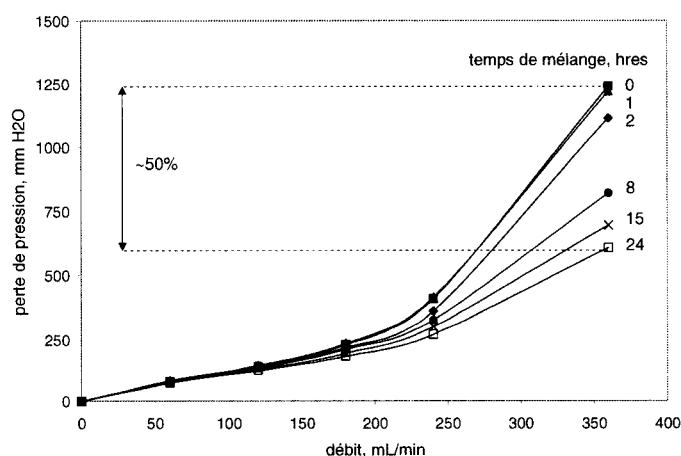
On a calibré le fonctionnement de l'appareil avec de l'eau en mesurant la perte de pression en fonction de la vitesse dans un capillaire. Ensuite, on a comparé les valeurs expérimentales avec les valeurs théoriques. On a utilisé des capillaires en verre de 1,8 mm, de 2,2 mm et de 2,6 mm de diamètre et de 5 et 10 cm de longueur à des fins de calibrage. Les résultats pour le capillaire de 10 cm pour les diamètres de 1,8 mm, de 2,2 mm et de 2,6 mm sont présentés à la figure 4.



**Figure 4. Valeurs expérimentales (exp) et théoriques (calc) de la perte de pression (dp) de l'eau en fonction de la vitesse moyenne**

#### Analyse de sensibilité de l'appareil

Dans le but de démontrer que les changements de perte de pression sont détectables et mesurables par l'unité, On a mesuré la perte de pression pour des solutions de PEO à différents degrés d'enchevêtrement en fonction du débit. On a effectué l'expérience pour une solution aqueuse de PEO à 0,2% massique (une concentration typique dans une usine) après différentes durées d'agitation. L'agitation était produite par un agitateur à palettes à 300 t/min. Les résultats présentés à la figure 5 illustrent la perte de pression en fonction du débit pour différents temps d'agitation. La différence de perte de pression d'une solution de 0,2 % de PEO après 24 h d'agitation à 350 mL/min est de plus de 50 %, ce qui est bien détectable et mesurable.



**Figure 5. Perte de pression d'une solution aqueuse de PEO de 0.2% en fonction du débit pour différents temps de mélange**

## CONCLUSIONS ET IMPLICATIONS POUR LA FABRICATION DU PAPIER

On a conçu, construit et calibré une unité expérimentale pour déterminer le désenchevêtrement de solutions aqueuses de PEO en les faisant passer dans un capillaire fin. Les résultats expérimentaux de la perte de pression du PEO en fonction de la vitesse dans un capillaire ont démontré que les valeurs théoriques obtenues par l'équation de Bernoulli modifiée correspondent aux valeurs expérimentales pour les trois diamètres et les différentes longueurs de capillaire utilisées.

Les résultats de la mesure de perte de pression en fonction du débit pour une solution de PEO de 0,2 % à différents stades de désenchevêtrement ont démontré que l'unité est suffisamment sensible pour détecter des changements dans le démêlement du PEO à des débits élevés.

On a prévu d'effectuer plusieurs séries d'expériences. La première série portera sur le comportement du PEO pendant la préparation et pendant l'entreposage, ainsi que pendant la dissolution et l'agitation. Les résultats devraient fournir plus d'information sur le désenchevêtrement du PEO pendant ces procédures. Au cours de la deuxième série, on va étudier l'efficacité du PEO en fonction de l'enchevêtrement pour la rétention de fines sur un formeur à double toile de laboratoire, qui est disponible à l'Université McGill. Ensuite, on a planifié des expériences sur une machine à plus large échelle (machine pilote à Paprican) ainsi que la mise en œuvre de l'unité pour la conception de la préparation et du contrôle du PEO.

L'oxyde de polyéthylène, utilisé avec un cofacteur, est un agent de rétention efficace dans des systèmes très contaminés utilisant de la pâte thermomécanique ou désencrée. Malgré leurs nombreux avantages, les systèmes de rétention à base de PEO avec cofacteur demeurent problématiques, principalement à cause de la dégradation mécanique due au désenchevêtrement du PEO pendant le mélange, le pompage et l'injection.

Il serait très avantageux de surveiller et de contrôler la préparation du PEO en mesurant la perte de pression, afin de garantir une efficacité de rétention maximale du PEO. Une fois mise en service, cette unité peut aussi contribuer à l'optimisation du dosage de PEO, qui est également importante afin d'obtenir une efficacité de rétention maximale et d'améliorer ainsi la fabrication du papier. Tous ces paramètres, une fois surveillés et contrôlés, auront un impact positif sur l'économie du procédé et sur la qualité du papier produit.

## RÉFÉRENCES

1. Xiao, H., Pelton, R., Hamelec, A., «Retention Mechanisms for Two-Component Systems Based on Phenolic Resins and PEO or New PEO-Copolymer Retention Aids», *JPPS*: 22, (12), (1996).
2. Abdallah, M., «The Role of Polymer Entanglements in Polyethylene Oxide (PEO) Induced Fines Flocculation», PhD Thesis, Department of Chemical Engineering, McGill University, (2002).
3. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, John Wiley & Sons, Third Edition, 18, p.623, (1982).
4. Polvelari M., van de Ven, T., G., M., «Dilute Aqueous Poly(ethylene oxide) Solutions : Clusters and Single Molecules in Thermodynamic Equilibrium», *J. Phys. Chem.*, (100), 13687-95, (1996).
5. Polverari, M., Van De Ven, T., G., M., «Dynamic Light Scattering Of Suspensions Of PEO-Coated Latex Particles, Colloids And Surface», *Physicochemical And Engineering Aspects*, 86, 209-28, (1994).
6. McCabe, W., L., Smith, J., C., Harriot, P., «Unit Operations Of Chemical Engineering», 5th Edition, McGraw-Hill, pp. 204-207, (1993).

## Annexe 2 Bilans pour vérifier la reproductibilité et la précision du FDTL

Date: August 23, 2002		1									
Exp#:		BLANK (no PEO, no collector)									
Stream	Mass Balance			Fibre Balance			Fines Balance				
	Bucket	Mass (kg)	Wt (g)	Stream	Consistency	Stream	Fines	Stream	Fines	Stream	Fines
Headbox	25.2	50	113.35	0.5474	0.518%	0.5474	25.40%	0.5474	25.40%	0.5474	0.5474
Forming	0.00	62.06	62.06	0.166%	0.166%	0.1031	100.00%	0.1031	100.00%	0.1031	0.1031
Folds	2.92	21.38	19.06	0.155%	0.155%	0.0295	100.00%	0.0295	100.00%	0.0295	0.0295
Vacuum #1	6.24	15.10	8.86	0.210%	0.210%	0.0186	100.00%	0.0186	100.00%	0.0186	0.0186
Vacuum #2	5.77	8.50	2.73	0.171%	0.171%	0.0047	100.00%	0.0047	100.00%	0.0047	0.0047
Vacuum #3	5.78	7.13	1.35	0.168%	0.168%	0.0023	100.00%	0.0023	100.00%	0.0023	0.0023
Web	3.56	14.10	10.54	7.982%	7.982%	0.8413	8.06%	0.8413	8.06%	0.8413	0.8413
Total Collected (kg)			104.60			0.9955		0.9955		0.9955	0.9955
Loss (EPSILON)			10.43			-0.0582		-0.0582		0.0225	0.0225
Recovery:			90.9%			106.2%		106.2%		90.5%	90.5%
First retention		29.99%									
Cond.											
BLANK (no PEO, no collector)											
PEO dosage:											
GP (0.2%, 400 mL/min, no recalculation)											
GP (0.02%, 400 mL/min, no recalculation)											
Solids Content - %											
B-McNett R14 - %											
B-McNett 14/28 - %											
B-McNett 28/48 - %											
B-McNett 48/100 - %											
B-McNett 100/200 - %											
B-McNett P200 - %											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											
Kajani 1.0 mm - mm											





Date: August 23, 2002	TMP • DISSOLVED PEO (5 min stirring) • COFACTOR										
Exp#:	3										
Stream	Mass Balance			Fibre Balance			Fines Balance			Stream Fines (kg)	
	Bucket Mass (kg)	Stream (kg)	Stream (kg)	Stream Consistency	Solids (kg)	Stream Consistency	Fines Fraction				
	Headbox	Initial (cm): 59.5	113.02	0.813%	0.9192		26.40%				
	Forming	Final (cm): 0.00	61.82	0.122%	0.0756		100.00%				
	Folds	2.92	20.19	17.27	0.101%	0.0174	100.00%				
	Vacuum #1	6.24	13.72	7.48	0.148%	0.0110	100.00%				
	Vacuum #2	5.77	8.41	2.64	0.145%	0.0038	100.00%				
	Vacuum #3	5.78	6.97	1.19	0.149%	0.0018	100.00%				
	Web	3.56	15.31	11.75	6.816%	0.8009	13.70%				
	Total Collected (kg):				102.15	0.9105		0.2193			
Loss (EPSILON) Recovery				10.87	0.0087	99.1%	0.0233				
Fines retention								50.02%			
Cond.	TMP • DISSOLVED PEO (5 min stirring) • COFACTOR										
	PEO dosage:										
	GP PEO 150 ml/min (no restriction)										
	GP (0.02% - 400 ml/min, no restriction)										
	50 g/T										
	8.8										
	6.24										
Papercat:	Solids Content - %										
	B-Michler R14 - %										
	B-Michler 1428 - %										
	B-Michler 2848 - %										
	B-Michler 48100 - %										
	B-Michler 100200 - %										
	B-Michler 1000000 - %										
	Kalaani Aftm - mm										
	Kalaani L Wtd - mm										
	Kalaani Coarse - mg/m										
	Kalaani P-0.2mm - %										
	6.61										
	19.0										
	24.2										
21.0											
11.9											
3.6											
20.3											
0.73											
1.55											
2.18											
0.240											
27.53											

Stream	Consistency Analysis						Pulp Flow	
	Paper Mass (g)	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Pulp Mass (g)	Pulp Mass (g)	Pulp Mass (g)	Pump RPM	Size (mm)
Headbox	301	0.9852	100	1.7819	0.807	0.81%	28.63	6
Forming	302	1.0051	100	1.8279	0.823	0.82%	3.95	3.95
Folds	303	1.0229	100	1.8009	0.778	0.78%		
Vacuum #1	304	1.0265	100	1.8723	0.846	0.85%		
Vacuum #2	305	1.0250	100	1.1473	0.122	0.12%		
Vacuum #3	307	1.0233	100	1.1240	0.101	0.10%		
Web	309	0.9929	100	1.1404	0.148	0.15%		
Headbox Before	310	1.0082	100	1.1529	0.145	0.14%		
	311	1.0072	100	1.1558	0.149	0.15%		
	312	0.9928	5.4013	1.3417	0.349	6.46%		
	313	0.9895	5.2089	1.3611	0.372	7.13%		
	314	0.9931	5.0050	1.3310	0.338	6.75%		
	315	1.0018	4.5234	1.3148	0.313	6.82%		
			1.0221	100	1.9273	0.805		

Fabric Tension	
Pressure, long (kPa)	425
Pressure, short (kPa)	220
Tension, long (kNm)	2.01
Tension, short (kNm)	2.08
Fabric Velocity	
Motor RPM	1750
Fabric Velocity (m/s)	5.31
Calibration Parameters	
Headbox Size	4.027
Volume of pulp in tubing	23.5





Date:	August 6, 2002								
Expt:	1								
TMP + DISSOLVED PEO (0 min stirring) + COFACTOR									
Stream	Mass Balance			Fibre Balance			Fibre Balance		
	Bucket	Mass (kg)	Stream (kg)	Stream (kg)	Mass (kg)	Consistency	Spun (kg)	Stream (kg)	Fibre (kg)
Headbox	Initial (cm)	59.6	111.0018		0.802%	0.8801		26.40%	0.2350
Forming	Final (cm)	0.00	63.86		0.126%	0.0806		100.00%	0.0806
		2.92	18.78	15.84	0.132%	0.0209		100.00%	0.0209
Folds		6.24	14.01	7.77	0.162%	0.0126		100.00%	0.0126
Vacuum #1		5.77	8.60	2.83	0.133%	0.0038		100.00%	0.0038
Vacuum #2		5.78	7.08	1.30	0.149%	0.0019		100.00%	0.0019
Vacuum #3		3.56	15.00	11.44	6.774%	0.7749		12.69%	0.09838378
Web									
Total Collected (kg)			103.04			0.8946523			0.218130528
Loss (EPSILON)			7.96			-0.0046			0.0169
Recovery:			92.83%			100.52%			92.83%
Fibre retention									
45.09%									
Notes:									
TMP + DISSOLVED PEO (0 min stirring) + COFACTOR									
PEO tows:									
GF PEO:									
46 (0.2%, 160 mL/min, no rectification)									
46 (0.02%, 400 mL/min, no rectification)									
PEO preparation: 45 min at 400 RPM, 1 g in 500 mL measurement at 400 RPM									
Solids Content - %									
B-McNett R14 - %									
B-McNett 1428 - %									
B-McNett 2848 - %									
B-McNett 48100 - %									
B-McNett 100200 - %									
B-McNett P200 - %									
Kajani Anth. - mm									
Kajani L. Wtd - mm									
Kajani W. Wtd - mm									
Kajani Coarse - mg/m									
Kajani P-0.2mm - %									
6.74									
18.9									
24.6									
21.6									
12.4									
3.5									
19.1									
0.77									
1.61									
2.20									
0.235									
26.18									

Stream	Headbox	Consistency	Analysis	Paper	Pulp	Dried	Mass (g)	Fibre (g)	Consistency
	401	1.0073	100	1.8335	0.8262	0.008262			
	402	0.9226	100	1.7017	0.7791	0.007791			
	403	1.0034	100	1.8095	0.9001	0.009001			
	404	1.0174	100	1.8195	0.9021	0.009021			
Forming	Folds	405	1.0135	100	1.1397	0.1397	0.001397		
	Folds	407	1.0170	100	1.1491	0.1491	0.001491		
	Vacuum #1	409	0.9995	100	1.1614	0.1619	0.001619		
	Vacuum #2	410	1.0076	100	1.1408	0.1392	0.001392		
	Vacuum #3	411	0.9142	100	1.0532	0.149	0.00149		
Web	412	1.0474	6.8863	1.5047	0.4573	0.068395561			
	413	1.0502	4.6423	1.3835	0.3333	0.07759308			
	414	1.0485	6.0417	1.4541	0.4556	0.06713423			
	415	0.9898	5.7452	1.3553	0.3555	0.05618325			

Pulp Flow		Pump RPM	945
Slice (mm)		6	28.38
Duration (s)			3.91
Pulp Flow Rate (kg/s)			4.07428802
Pulp Velocity (m/s)			
Fabric Tension		Pressure, long (kPa):	425
		Pressure, short (kPa):	220
		Tension, long (kN/m):	2.0064
		Tension, short (kN/m):	2.01686
Fabric Velocity		Meer (ft/min)	1750
		Fabric Velocity (m/s):	5.30796
Calibration Parameters			
Headbox Spout			4.027
Volume of pulp in tubing			23.5

Date: Exp#	August 8, 2002 2									
TMP + DISSOLVED PEO (5 min stirring) + COFACTOR										
Stream Headbox	Mass Balance		Fiber Balance		Fiber Balance		Fiber Balance		Fiber Balance	
	Initial (kg)	Final (kg)	Stream (kg)	Stream (kg)	Stream (kg)	Stream (kg)	Stream (kg)	Stream (kg)	Stream (kg)	Stream (kg)
Forming	59.5	59.5	113.418	0.847%	0.8609	0.8609	0.8609	0.8609	0.8609	0.8609
Folds	25.5	25.5	62.78	0.130%	0.0815	0.0815	0.0815	0.0815	0.0815	0.0815
Vacuum #1	0.00	0.00	18.77	0.127%	0.0201	0.0201	0.0201	0.0201	0.0201	0.0201
Vacuum #2	2.82	2.82	13.70	0.165%	0.0123	0.0123	0.0123	0.0123	0.0123	0.0123
Vacuum #3	6.24	6.24	8.50	0.144%	0.0039	0.0039	0.0039	0.0039	0.0039	0.0039
Web	5.77	5.78	7.05	0.175%	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022
Total Collected (kg)	3.56	3.56	15.54	7.135%	0.8547	0.8547	0.8547	0.8547	0.8547	0.8547
Loss (EPSILON)	102.07		11.35		0.974798314		0.974798314		0.974798314	
Recovery	89.98%		89.98%		-0.0139		101.45%		0.0254	
Fiber retention										
47.41%										
Notes:										
TMP + DISSOLVED PEO (5 min stirring) + COFACTOR										
PEO dosage:										
CF-PEO										
4p (0.2%, 160 mL/min, no recirculation)										
5p (0.02%, 400 mL/min, no recirculation)										
PEO preparation:										
45 min at 400 RPM, 1 g in 500 mL measurement at 400 RPM										
5 min tests at 400 RPM, measurement at 400 RPM										
6.39										
Paprican:	Solids Content - %									
	B-McNet R14 - %									
	B-McNet 14/28 - %									
	B-McNet 28/48 - %									
	B-McNet 48/100 - %									
	B-McNet 100/200 - %									
	B-McNet PEO - %									
	Kajant L. Antr. - mm									
	Kajant L. Wtd. - mm									
	Kajant W. Wtd. - mm									

Stream	Consistency Analysis		Consistency Analysis		Consistency Analysis		Consistency Analysis		Consistency Analysis	
	Paper #	Paper Mass (g)	Paper Mass (g)	Paper Mass (g)	Paper Mass (g)	Paper Mass (g)	Paper Mass (g)	Paper Mass (g)	Paper Mass (g)	Paper Mass (g)
Headbox	301	1.0491	1.0491	1.0491	1.0491	1.0491	1.0491	1.0491	1.0491	1.0491
Forming	302	1.0118	1.0118	1.0118	1.0118	1.0118	1.0118	1.0118	1.0118	1.0118
Folding	303	0.9008	0.9008	0.9008	0.9008	0.9008	0.9008	0.9008	0.9008	0.9008
Folds	304	1.0084	1.0084	1.0084	1.0084	1.0084	1.0084	1.0084	1.0084	1.0084
Vacuum #1	305	1.0083	1.0083	1.0083	1.0083	1.0083	1.0083	1.0083	1.0083	1.0083
Vacuum #2	307	1.0200	1.0200	1.0200	1.0200	1.0200	1.0200	1.0200	1.0200	1.0200
Vacuum #3	309	0.9318	0.9318	0.9318	0.9318	0.9318	0.9318	0.9318	0.9318	0.9318
Web	311	1.0316	1.0316	1.0316	1.0316	1.0316	1.0316	1.0316	1.0316	1.0316
Total Collected (kg)	312	0.9926	0.9926	0.9926	0.9926	0.9926	0.9926	0.9926	0.9926	0.9926
Loss (EPSILON)	313	0.9896	0.9896	0.9896	0.9896	0.9896	0.9896	0.9896	0.9896	0.9896
Recovery	314	0.9935	0.9935	0.9935	0.9935	0.9935	0.9935	0.9935	0.9935	0.9935
	315	1.0025	1.0025	1.0025	1.0025	1.0025	1.0025	1.0025	1.0025	1.0025

Pulp Flow		Pulp Flow		Pulp Flow		Pulp Flow		Pulp Flow	
Pump RPM	945	Pump RPM	945	Pump RPM	945	Pump RPM	945	Pump RPM	945
Duration (s)	28.41	Duration (s)	28.41	Duration (s)	28.41	Duration (s)	28.41	Duration (s)	28.41
Pulp Flow Rate (kg/s)	3.99	Pulp Flow Rate (kg/s)	3.99	Pulp Flow Rate (kg/s)	3.99	Pulp Flow Rate (kg/s)	3.99	Pulp Flow Rate (kg/s)	3.99
Pulp Velocity (m/s)	4.15556393	Pulp Velocity (m/s)	4.15556393	Pulp Velocity (m/s)	4.15556393	Pulp Velocity (m/s)	4.15556393	Pulp Velocity (m/s)	4.15556393
Fabric Tension		Fabric Tension		Fabric Tension		Fabric Tension		Fabric Tension	
Pressure, long (kPa)	425	Pressure, long (kPa)	425	Pressure, long (kPa)	425	Pressure, long (kPa)	425	Pressure, long (kPa)	425
Pressure, short (kPa)	220	Pressure, short (kPa)	220	Pressure, short (kPa)	220	Pressure, short (kPa)	220	Pressure, short (kPa)	220
Tension, long (kN/m)	2.0064	Tension, long (kN/m)	2.0064	Tension, long (kN/m)	2.0064	Tension, long (kN/m)	2.0064	Tension, long (kN/m)	2.0064
Tension, short (kN/m)	2.0086	Tension, short (kN/m)	2.0086	Tension, short (kN/m)	2.0086	Tension, short (kN/m)	2.0086	Tension, short (kN/m)	2.0086
Fabric Velocity		Fabric Velocity		Fabric Velocity		Fabric Velocity		Fabric Velocity	
Motor RPM	1750	Motor RPM	1750	Motor RPM	1750	Motor RPM	1750	Motor RPM	1750
Fabric Velocity (m/s)	5.30796	Fabric Velocity (m/s)	5.30796	Fabric Velocity (m/s)	5.30796	Fabric Velocity (m/s)	5.30796	Fabric Velocity (m/s)	5.30796
Calibration Parameters		Calibration Parameters		Calibration Parameters		Calibration Parameters		Calibration Parameters	
Headbox Slope	4.027	Headbox Slope	4.027	Headbox Slope	4.027	Headbox Slope	4.027	Headbox Slope	4.027
Volume of pulp in tubing	23.5	Volume of pulp in tubing	23.5	Volume of pulp in tubing	23.5	Volume of pulp in tubing	23.5	Volume of pulp in tubing	23.5



Date: August 9, 2002	
Expt: 4	
TMP + DISSOLVED PEO (60 min stirring) + COFACTOR	
Stream	Mass Balance
	Bucket With Stream Stream
	Mass (kg) Mass (kg) Mass (kg) Mass (kg)
Headbox	59.5 110.5991 0.9376315 0.264 0.24753472
Forming	26.2 61.82 0.152% 0.0940282 1 0.09402822
Folds	2.92 19.67 0.141% 0.0236845 1 0.0236845
Vacuum #1	6.24 14.13 0.174% 0.0137207 1 0.01372071
Vacuum #2	5.77 8.59 0.172% 0.0048363 1 0.0048363
Vacuum #3	5.78 7.11 0.178% 0.0023634 1 0.00236341
Web	3.56 11.39 0.178% 0.0023634 1 0.00236341
Total Collected (kg)	98.44 0.6630694
Loss (EPSILON)	12.16 0.2737
Recovery	89.01% 70.81%
Fines retention	37.08%
TMP + DISSOLVED PEO (60 min stirring) + COFACTOR	
Cond.	PEO dosage: 50 g/l
	CF-PEO: 08.01
	dp (0.2%, 160 mL/min, no recirculation): ?
	dp (0.02%, 400 mL/min, no recirculation): 3.20
	PEO preparation: 45 min at 400 RPM, 1 g in 500 mL measurement at 400 RPM 60 min more at 400 RPM-pumping, measurement at 400 RPM
Paprican:	Solids Content - %
	B-McNett R14 - % 7.64
	B-McNett 1428 - % 17.5
	B-McNett 2848 - % 25.4
	B-McNett 48/100 - % 21.5
	B-McNett 100/200 - % 12.2
	B-McNett P200 - % 3.4
	Kalasant Affm - mm 20.0
	Kalasant L Wtd - mm 0.73
	Kalasant Wt. Wtd - mm 2.23
	Kalasant Coarse - mg/m 0.163
	Kalasant P-0.2mm - % 26.45

Pulp Flow	
Pump RPM:	945
Slide (mm):	6
Duration (s):	25.34
Pulp Flow Rate (kg/s):	3.90
Pulp Velocity (m/s):	4.06518686
Fabric Tension	
Pressure, long (kPa):	425
Pressure, short (kPa):	220
Tension, long (kN/m):	2.0064
Tension, short (kN/m):	2.01686
Fabric Velocity	
Motor RPM:	1750
Fabric Velocity (m/s):	5.30796
Calibration Parameters	
Headbox Slope:	4.027
Volume of pulp in tubing:	23.5

Stream	Consistency Analysis					
	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Miss of Filter (g)	Stream Consistency	
Headbox	101	0.9121	100	1.7760	0.8639	0.006639
	102	1.0289	100	1.8727	0.8438	0.008438
	103	1.0236	100	1.8525	0.8289	0.008289
	104	1.0318	100	1.8663	0.8545	0.008545
Forming	105	0.9373	100	1.0864	0.1521	0.001521
Folds	107	1.0021	100	1.1435	0.1414	0.001414
Vacuum #1	109	1.0513	100	1.2252	0.1739	0.001739
Vacuum #2	110	1.0078	100	1.1793	0.1715	0.001715
Vacuum #3	111	0.9242	100	1.1019	0.1777	0.001777
Web	112	0.9918	6.4379	1.4117	0.4199	0.065223132
	113	0.9912	6.1288	1.4150	0.4238	0.069148936
	114	0.9964	5.8829	1.4084	0.412	0.070033467
	115	0.9955	6.7599	1.4279	0.4324	0.063965443

## Annexe 3 Données pour le design expérimental

Expérience 0 – Standard (aucun PEO, aucun cofacteur sur le FDTL)

March 24 2003									
BLANK									
Stream	Mass Balance			Fibre Balance		Fines Balance			
	Bucket	With	Stream	Stream	Solids	Stream	Fines	Stream	Fines
Headbox	Mass (kg)	Stream (kg)	Mass (kg)	Consistency	Stream (kg)	Fines (kg)	Fines (kg)		
	Initial (cm)	59.5	112.53	0.804%	0.8298	22.44%	0.1862		
Forming	Final (cm)	25.1							
	0.00								
Folds	2.92								
Vacuum #1	6.24		92.78	0.175%	0.1623	100.00%	0.1623		
Vacuum #2	5.77								
Vacuum #3	5.78								
Web	3.56	14.03	10.47	5.992%	0.7520	3.26%	0.0239		
Total Collected, kg			103.25		0.8944	0.1662			
Loss, EPSILON			9.28		-0.0646	0.0000			
Recovery:			91.8%		107.8%	100.0%			
PEO Preparation									
Concentration:	1 g PEO in 500 ml distilled water								
Dissolution time:	0.20%								
Stirring intensity:	1 hour								
Stirring time:	400 rpm								
PEO Disentanglement	no disentanglement								
Stirring time:	0								
Stirring intensity:	0								
PEO Dilution	50 ml 0.2% PEO + 950 ml water								
Concentration after	0.01% -> injected at 680 ml/min								
PEO Pressure drop	10 cm x 3.6 mm capillary								
0.20%	9.8 kPa @ 250 ml/min								
0.01%	5.7 kPa @ 400 ml/min								
Other:									
PEO dosage	30 g/T								
CF dosage	60 g/T								
PEO/CF	1:2								

Stream	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Fibres (g)	Stream Consistency
Headbox before	101	0.9770	68.3690	1.5228	0.546	0.80%
	102	0.9760	92.6718	1.7225	0.747	0.81%
	103	0.9656	85.1949	1.6533	0.688	0.81%
White water	104	0.9630	79.2568	1.1020	0.139	0.18%
	105	0.9808	64.8450	1.0930	0.112	0.17%
	106	0.9715	83.4604	1.1188	0.147	0.18%
Wet web	107	0.9825	85.3278	1.5439	0.561	5.77%
107.282	108	0.9656	91.6155	1.5988	0.633	7.13%
g in 1000 ml of water	109	0.9773	96.9821	1.6415	0.664	7.07%

Stream	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Fibres (g)	Stream Consistency
Headbox before	110	0.9614	87.7411	1.5211	0.560	20.63%
	111	0.9767	91.1300	1.5910	0.614	16.12%
White water	112	0.9562	82.7340	1.4794	0.523	21.31%
Wet web	113	0.9836	77.9855	1.4470	0.463	17.65%
	114	0.9671	83.1890	1.4400	0.473	21.23%
	115	0.9865	87.4271	1.5080	0.522	17.33%

Stream	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Fibres (g)	Stream Consistency
Headbox before	110	0.9614	87.7411	1.5211	0.560	20.63%
	111	0.9767	91.1300	1.5910	0.614	16.12%
White water	112	0.9562	82.7340	1.4794	0.523	21.31%
Wet web	113	0.9836	77.9855	1.4470	0.463	17.65%
	114	0.9671	83.1890	1.4400	0.473	21.23%
	115	0.9865	87.4271	1.5080	0.522	17.33%

Stream	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Fibres (g)	Stream Consistency
Headbox before	110	0.9614	87.7411	1.5211	0.560	20.63%
	111	0.9767	91.1300	1.5910	0.614	16.12%
White water	112	0.9562	82.7340	1.4794	0.523	21.31%
Wet web	113	0.9836	77.9855	1.4470	0.463	17.65%
	114	0.9671	83.1890	1.4400	0.473	21.23%
	115	0.9865	87.4271	1.5080	0.522	17.33%

Stream	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Fibres (g)	Stream Consistency
Headbox before	110	0.9614	87.7411	1.5211	0.560	20.63%
	111	0.9767	91.1300	1.5910	0.614	16.12%
White water	112	0.9562	82.7340	1.4794	0.523	21.31%
Wet web	113	0.9836	77.9855	1.4470	0.463	17.65%
	114	0.9671	83.1890	1.4400	0.473	21.23%
	115	0.9865	87.4271	1.5080	0.522	17.33%

Stream	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Fibres (g)	Stream Consistency
Headbox before	110	0.9614	87.7411	1.5211	0.560	20.63%
	111	0.9767	91.1300	1.5910	0.614	16.12%
White water	112	0.9562	82.7340	1.4794	0.523	21.31%
Wet web	113	0.9836	77.9855	1.4470	0.463	17.65%
	114	0.9671	83.1890	1.4400	0.473	21.23%
	115	0.9865	87.4271	1.5080	0.522	17.33%

Stream	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Fibres (g)	Stream Consistency
Headbox before	110	0.9614	87.7411	1.5211	0.560	20.63%
	111	0.9767	91.1300	1.5910	0.614	16.12%
White water	112	0.9562	82.7340	1.4794	0.523	21.31%
Wet web	113	0.9836	77.9855	1.4470	0.463	17.65%
	114	0.9671	83.1890	1.4400	0.473	21.23%
	115	0.9865	87.4271	1.5080	0.522	17.33%

Stream	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Fibres (g)	Stream Consistency
Headbox before	110	0.9614	87.7411	1.5211	0.560	20.63%
	111	0.9767	91.1300	1.5910	0.614	16.12%
White water	112	0.9562	82.7340	1.4794	0.523	21.31%
Wet web	113	0.9836	77.9855	1.4470	0.463	17.65%
	114	0.9671	83.1890	1.4400	0.473	21.23%
	115	0.9865	87.4271	1.5080	0.522	17.33%

Stream	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Fibres (g)	Stream Consistency
Headbox before	110	0.9614	87.7411	1.5211	0.560	20.63%
	111	0.9767	91.1300	1.5910	0.614	16.12%
White water	112	0.9562	82.7340	1.4794	0.523	21.31%
Wet web	113	0.9836	77.9855	1.4470	0.463	17.65%
	114	0.9671	83.1890	1.4400	0.473	21.23%
	115	0.9865	87.4271	1.5080	0.522	17.33%

Stream	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Fibres (g)	Stream Consistency
Headbox before	110	0.9614	87.7411	1.5211	0.560	20.63%
	111	0.9767	91.1300	1.5910	0.614	16.12%
White water	112	0.9562	82.7340	1.4794	0.523	21.31%
Wet web	113	0.9836	77.9855	1.4470	0.463	17.65%
	114	0.9671	83.1890	1.4400	0.473	21.23%
	115	0.9865	87.4271	1.5080	0.522	17.33%

Stream	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Fibres (g)	Stream Consistency
Headbox before	110	0.9614	87.7411	1.5211	0.560	20.63%
	111	0.9767	91.1300	1.5910	0.614	16.12%
White water	112	0.9562	82.7340	1.4794	0.523	21.31%
Wet web	113	0.9836	77.9855	1.4470	0.463	17.65%
	114	0.9671	83.1890	1.4400	0.473	21.23%
	115	0.9865	87.4271	1.5080	0.522	17.33%

Stream	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Fibres (g)	Stream Consistency
Headbox before	110	0.9614	87.7411	1.5211	0.560	20.63%
	111	0.9767	91.1300	1.5910	0.614	16.12%
White water	112	0.9562	82.7340	1.4794	0.523	21.31%
Wet web	113	0.9836	77.9855	1.4470	0.463	17.65%
	114	0.9671	83.1890	1.4400	0.473	21.23%
	115	0.9865	87.4271	1.5080	0.522	17.33%

Stream	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Fibres (g)	Stream Consistency
Headbox before	110	0.9614	87.7411	1.5211	0.560	20.63%
	111	0.9767	91.1300	1.5910	0.614	16.12%
White water	112	0.9562	82.7340	1.4794	0.523	21.31%
Wet web	113	0.9836	77.9855	1.4470	0.463	17.65%
	114	0.9671	83.1890	1.4400	0.473	21.23%
	115	0.9865	87.4271	1.5080	0.522	17.33%

Stream	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Fibres (g)	Stream Consistency
Headbox before	110	0.9614	87.7411	1.5211	0.560	20.63%
	111	0.9767	91.1300	1.5910	0.614	16.12%
White water	112	0.9562	82.7340	1.4794	0.523	21.31%
Wet web	113	0.9836	77.9855	1.4470	0.463	17.65%
	114	0.9671	83.1890	1.4400	0.473	21.23%
	115	0.9865	87.4271	1.5080	0.522	17.33%

Stream	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Fibres (g)	Stream Consistency
Headbox before	110	0.9614	87.7411	1.5211	0.560	20.63%
	111	0.9767	91.1300	1.5910	0.614	16.12%
White water	112	0.9562	82.7340	1.4794	0.523	21.31%
Wet web	113	0.9836	77.9855	1.4470	0.463	17.65%
	114	0.9671	83.1890	1.4400	0.473	21.23%
	115	0.9865	87.4271	1.5080	0.522	17.33%

Stream	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Fibres (g)	Stream Consistency
Headbox before	110	0.9614	87.7411	1.5211	0.560	20.63%
	111	0.9767	91.1300	1.5910	0.614	16.12%
White water	112	0.9562	82.7340	1.4794	0.523	21.31%
Wet web	113	0.9836	77.9855	1.4470	0.463	17.65%
	114	0.9671	83.1890	1.4400	0.473	21.23%
	115	0.9865	87.4271	1.5080	0.522	17.33%

Stream	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Fibres (g)	Stream Consistency
Headbox before	110	0.9614	87.7411	1.5211	0.560	20.63%
	111	0.9767	91.1300	1.5910	0.614	16.12%
White water	112	0.9562	82.7340	1.4794	0.523	21.31%
Wet web	113	0.9836	77.9855	1.4470	0.463	17.65%
	114	0.9671	83.1890	1.4400	0.473	21.23%
	115	0.9865	87.4271	1.5080	0.522	17.33%

Stream	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Fibres (g)	Stream Consistency
Headbox before	110	0.9614	87.7411	1.5211	0.560	20.63%
	111	0.9767	91.1300	1.5910	0.614	16.12%
White water	112	0.9562	82.7340	1.4794	0.523	21.31%
Wet web	113	0.9836	77.9855	1.4470	0.463	17.65%
	114	0.9671	83.1890	1.4400	0.473	21.23%
	115	0.9865	87.4271	1.5080	0.522	17.33%

Stream	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Fibres (g)	Stream Consistency
Headbox before	110	0.9614	87.7411	1.5211	0.560	20.63%
	111	0.9767	91.1300	1.5910	0.614	16.12%
White water	112	0.9562	82.7340	1.4794	0.523	21.31%
Wet web	113	0.9836	77.9855	1.4470	0.463	17.65%
	114	0.9671	83.1890	1.4400	0.473	21.23%
	115	0.9865	87.4271	1.5080	0.522	17.33%

Stream	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Fibres (g)	Stream Consistency
Headbox before	110	0.9614	87.7411	1.5211	0.560	20.63%
	111	0.9767	91.1300	1.5910	0.614	16.12%
White water	112	0.9562	82.7340	1.4794	0.523	21.31%
Wet web	113	0.9836	77.9855	1.4470	0.463	17.65%
	114	0.9671	83.1890	1.4400	0.473	21.23%
	115	0.9865	87.4271	1.5080	0.522	17.33%

Stream	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Fibres (g)	Stream Consistency
Headbox before	110	0.9614	87.7411	1.5211	0.560	20.63%
	111	0.9767	91.1300	1.5910	0.614	16.12%
White water	112	0.9562	82.7340	1.4794	0.523	21.31%
Wet web	113	0.9836	77.9855	1.4470	0.463	17.65%
	114	0.9671	83.1890	1.4400	0.473	21.23%
	115	0.9865	87.4271	1.5080	0.522	17.33%

Stream	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Fibres (g)	Stream Consistency
Headbox before	110	0.9614	87.7411	1.5211	0.560	20.63%
	111	0.9767	91.1300	1.5910	0.614	16.12%
White water	112	0.9562	82.7340	1.4794	0.523	21.31%
Wet web	113	0.9836	77.9855	1.4470	0.463	17.



# Expérience 1 – Set 1

Date	March 18/20 2003									
Experiment #	1 SET 1									
Stream	Mass Balance			Fibre Balance			Fines Balance			
	Bucket	With	Stream	Stream	Stream	Stream	Stream	Stream	Stream	
	Mass (kg)	Stream (kg)	Mass (kg)	Consistency	Solids (kg)	Consistency	Solids (kg)	Fines	Stream	
Headbox	Initial (cm)	59.5	113.33	0.786%	0.8135	22.44%	0.1825			
	Final (cm)	24.9								
Forming		0.00								
Folds	2.92									
Vacuum #1	6.24									
Vacuum #2	5.77		92.54	0.170%	0.1574	100.00%	0.1574			
Vacuum #3	5.78									
Web	3.56	14.49	10.93	6.759%	0.7387	3.40%	0.0251			
Total Collected, kg			103.47		0.8961		0.1825			
Loss, EPSILON			9.86		-0.0827		0.0000			
Recovery:			91.3%		110.2%		100.0%			
PEO Preparation	1 g PEO in 500 mL distilled water									
Concentration:	0.20%									
Dissolution time:	1 hour									
Slitting intensity	400 rpm									
PEO Disentanglement	no disentanglement									
Slitting time	0									
Slitting intensity	0									
PEO Dilution	50 ml 0.2% PEO + 950 ml water									
Concentration after	0.01% -> injected at 680 mL/min									
PEO Pressure drop	10 cm x 2.6 mm capillary									
0.20%	9.8 kPa @ 250 mL/min									
0.01%	5.7 kPa @ 400 mL/min									
Other										
PEO dosage	30 g/l									
CF dosage	60 g/l									
PEO-CF	1:2									

experimental value

Consistency Analysis							Pulp Flow			
Stream	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Fibres (g)	Stream Consistency	Pump RPM	Headbox Slice	Pump Flow Rate (kg/s)	Pulp Velocity (m/s)
Headbox before	101	0.9726	81.2991	1.6072	0.635	0.78%			9.45	
	102	0.9728	96.1784	1.7386	0.766	0.80%		6	29.97	
	103	0.9720	80.5638	1.6018	0.630	0.78%			3.83	3.99
White water	104	0.9660	85.5366	1.1076	0.142	0.17%	Fabric Tension			
	105	0.9651	96.3170	1.1318	0.167	0.17%		Pressure, long (kPa)	425	
	106	0.9563	85.9060	1.1038	0.148	0.17%		Pressure, short (kPa)	220	
Wet web	107	0.9610	100.0346	1.5770	0.616	6.43%			2.01	
	108	0.9854	93.6325	1.6172	0.632	7.04%			2.02	
	105.99 g in 1000 ml of water	109	0.9764	93.4175	1.586	0.610	6.81%			
Fines Content Analysis							Fabric Velocity			
Stream	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Fibres (g)	Stream Consistency	Motor RPM	Fabric Velocity (m/s)		
Headbox before	110	0.9692	85.2145	1.4780	0.509	24.05%			1750	
	111	0.9873	77.8266	1.4574	0.470	23.17%				
	112	0.9652	87.4467	1.4864	0.521	24.19%				
White water	113	0.9663	100.5118	1.5715	0.605	14.82%	Calibration Parameters			
	114	0.9680	89.5167	1.5240	0.566	11.36%		Headbox Slice	4.027	
	115	0.9685	99.8085	1.6206	0.652	7.36%		Pump in tubing	26	

Pulp Flow	Pulp Flow Rate (kg/s)	Pulp Velocity (m/s)
Pump RPM	945	
Duration (s)	6	
Pulp Flow Rate (kg/s)	29.57	
Pulp Velocity (m/s)	3.83	
	3.99	

Fabric Tension	Pressure long (kPa)	Pressure short (kPa)	Tension long (kNm)	Tension short (kNm)
	425		220	
			2.01	
			2.02	

Fabric Velocity	Motor RPM	Fabric Velocity (m/s)
	1750	

Calibration Parameters	Headbox Slope	Pump in tubing
	4.027	26

# Expérience 2 – Set 1

Date	March 18/20 2003									
Experiment #	2 SET 1									
Stream	Mass Balance			Fibre Balance			Fines Balance			
	Bucket	With	Stream	Stream	Stream	Stream	Fines	Stream	Fines	
Headbox	Mass (kg)	Stream (kg)	Mass (kg)	Consistency	Solids (kg)	Consistency	Fraction	Fines	Fines	
	Initial (cm):	59.7	113.74	0.780%	0.7868		22.44%	0.1766		
	Final (cm):	25.0								
Forming	0.00									
Folts	2.92									
Vacuum #1	6.24		89.28	0.148%	0.1324		100.00%	0.1324		
Vacuum #2	5.77									
Vacuum #3	5.78									
Web	3.56	15.20	11.64	6.186%	0.7200		6.14%	0.0442		
Total Collected, kg			100.92		0.8524			0.1766		
Loss, EPSILON			12.82		-0.0656			0.0000		
Recovery:			88.7%		108.3%			100.0%		
<b>Fibre Tension</b>										
PEO Preparation	1 g PEO in 500 ml, distilled water									
Concentration:	0.20%									
Dissolution time:	1 hour									
Stripping intensity:	400 rpm									
PEO Disentanglement	no disentanglement									
Stripping time:	0									
Stripping intensity:	0									
PEO Dilution	100 ml 0.2% PEO + 900 ml water									
Concentration after	0.02% -> injected at 900 mL/min									
PEO Pressure drop	10 cm x 2.6 mm capillary									
0.20%	9.8 kPa @ 250 mL/min									
0.02%	7.3 kPa @ 400 mL/min									
Other										
PEO dosage	80 g/T									
CF dosage	160 g/T									
PEO:CF	1:2									

experimental value

Consistency Analysis							
Stream	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Fibres (g)	Stream Consistency	
Headbox before	201	0.9587	93.9446	1.6833	0.725	0.77%	Pulp Flow Pump RPM 945 Slice (mm) 6 Duration (s) 29.16 Pulp Flow Rate (kg/s) 3.90 Pulp Velocity (m/s) 4.06
	202	0.9648	84.4362	1.6310	0.666	0.79%	
	203	0.9717	91.8452	1.6869	0.715	0.76%	
White water	204	0.9514	92.5022	1.0265	0.075	0.08%	Fabric Tension Pressure, long (kPa) 425 Pressure, short (kPa) 220 Tension, long (kN/m) 2.01 Tension, short (kN/m) 2.02
	205	0.9620	92.1796	1.1012	0.139	0.15%	
	206	0.9683	83.8241	1.0903	0.122	0.15%	
Wet web 100.11 g in 1000 ml of water	207	0.9567	88.6790	1.4446	0.488	6.05%	Fabric Velocity Motor RPM 1750 Fabric Velocity (m/s) 26
	208	0.9647	98.1468	1.5091	0.544	6.10%	
	209	0.9563	92.1310	1.4942	0.538	6.42%	
Fines Content Analysis							
Stream	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Fibres (g)	Stream Consistency	
Headbox before	210	0.9691	86.9567	1.4620	0.493	27.30%	Calibration Parameters Headbox Slope 4.027 Pump in tubing 26
	211	0.9508	88.0739	1.4860	0.535	22.06%	
	212	0.9553	78.9273	1.4241	0.469	23.82%	
	213	0.9500	97.1900	1.4470	0.497	24.77%	
	214	0.9637	88.1073	1.4254	0.462	22.91%	
White water	215	0.9488	99.4948	1.4745	0.526	22.27%	Fabric Tension Pressure, long (kPa) 425 Pressure, short (kPa) 220 Tension, long (kN/m) 2.01 Tension, short (kN/m) 2.02
	216	0.9550	88.0739	1.4860	0.535	22.06%	
	217	0.9500	97.1900	1.4470	0.497	24.77%	
Wet web	218	0.9500	97.1900	1.4470	0.497	24.77%	Fabric Velocity Motor RPM 1750 Fabric Velocity (m/s) 26
	219	0.9637	88.1073	1.4254	0.462	22.91%	
	220	0.9488	99.4948	1.4745	0.526	22.27%	

Pulp Flow			
Pump RPM	945		
Size (mm)	6		
Duration (s)	29.16		
Pulp Flow Rate (kg/s)	3.90		
Pulp Velocity (m/s)	4.06		

Fabric Tension			
Pressure, long (kPa)	425		
Pressure, short (kPa)	220		
Tension, long (kN/m)	2.01		
Tension, short (kN/m)	2.02		

Fabric Velocity	
Motor RPM	1760
Fabric Velocity (m/s)	

Calibration Parameters			
Headbox Slope	4.027		
Pump in tubing	26		



# Expérience 4 – Set I

Date	March 18/20 2003						
Experiment #	4 SET 1						
Stream	Mass Balance			Fibre Balance		Fines Balance	
	Bucket	With	Stream	Stream	Stream	Fines Fraction	Stream Fines (kg)
Headbox	Mass (kg)	Stream (kg)	Mass (kg)	Consistency	Solids (kg)		
	Initial (cm):	59.5	110.92	0.780%	0.7920	22.44%	0.1777
	Final (cm):	25.5					
Forming	0.00						
Folts	2.92						
Vacuum #1	6.24		89.80	0.129%	0.1159	100.00%	0.1159
Vacuum #2	5.77						
Vacuum #3							
Web	3.56	15.34	11.78	5.764%	0.6790	9.10%	0.0618
Total Collected, kg			101.58		0.7949		0.1777
Loss, EPSILON			9.34		-0.0029		0.0000
Recovery:			91.6%		100.4%		100.0%
PEO Preparation	1 g PEO in 500 mL distilled water						
Concentration:	0.20%						
Dissolution time:	1 hour						
Stirring intensity:	400 rpm						
PEO Disentanglement	no disentanglement						
Stirring time:	0						
Stirring intensity:	0						
PEO Dilution	100 mL 0.2% PEO + 1900 mL water						
Concentration after	0.01% -> injected at 1800 mL/min						
PEO Pressure drop	10 cm x 2.6 mm capillary						
0.20%	9.8 kPa @ 250 mL/min						
0.01%	5.9 kPa @ 400 mL/min						
Other							
PEO dosage	80 g/T						
CF dosage	960 g/T						
PEO/CF	1:12						

experimental value

Stream	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Mass of Fibres (g)	Stream Consistency
Headbox before	401	0.9607	99.6174	1.7249	0.764	0.77%
	402	0.9717	104.3054	1.7811	0.809	0.78%
	403	0.9517	90.1377	1.6991	0.717	0.80%
White water	404	0.9538	93.6449	1.0768	0.123	0.13%
	405	0.9589	69.3710	1.0468	0.088	0.13%
	406	0.9653	94.2230	1.0870	0.122	0.13%
Wet web	407	0.9483	96.6973	1.5058	0.557	5.78%
110.664	408	0.9735	88.7380	1.4820	0.509	5.75%
g in 1000 ml of water	409	FAILED	FAILED	FAILED	####	#VALEUR!
Stream	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Mass of Fibres (g)	Stream Consistency
Headbox before	410	0.9696	84.6086	1.4906	0.521	21.02%
	411	0.9765	102.3030	1.6012	0.625	21.68%
	412	0.9516	92.7415	1.5141	0.563	22.21%
White water						
Wet web	413	0.9745	94.8271	1.4664	0.492	10.32%
	414	0.9745	100.0934	1.4865	0.512	11.57%
	415	0.9697	98.6663	1.4840	0.514	9.89%

Pulp Flow	
Pump RPM	945
Size (mm)	6
Duration (s)	29.16
Pulp Flow Rate (kg/s)	3.80
Pulp Velocity (m/s)	3.96

Fabric Tension	
Pressure, long (kPa)	425
Pressure, short (kPa)	220
Tension, long (kN/m)	2.01
Tension, short (kN/m)	2.02

Fabric Velocity	
Motor RPM	1750
Fabric Velocity (m/s)	

Calibration Parameters	
Headbox Slope	4.027
Pump in tubing	26

# Expérience 5 – Set 1

Date	Experiment #	March 18/20 2003									
Stream	5 SET 1										
	Mass Balance			Fibre Balance			Fines Balance				
	Bucket	With	Stream	Stream	Stream	Stream	Stream	Fines	Stream	Stream	
	Mass (kg)	Stream (kg)	Mass (kg)	Consistency	Solids (kg)	Consistency	Solids (kg)	Fraction	Fines	Fines (kg)	
Headbox	Initial (cm):	59.5	114.54	0.776%	0.9056			22.44%		0.1808	
	Final (cm):	24.6									
Forming	0.00										
Folts	2.92		93.24	0.168%	0.1570			100.00%		0.1570	
Vacuum #1	6.24										
Vacuum #2	5.77										
Vacuum #3	5.78										
Web	3.56	14.08	10.52	6.548%	0.6889			3.45%		0.0237	
Total Collected, kg			103.76		0.8459					0.1808	
Loss, EPSILON			10.78		-0.0403					0.0000	
Recovery:			90.6%		105.0%					100.0%	
Final preparation											
1 g PEO in 500 mL distilled water											
PEO Preparation	0.20%										
Concentration:	1 hour										
Dissolution time:	400 rpm										
Stirring intensity:	no disentanglement										
PEO Disentanglement	16 hours										
Stirring time:	400 RPM										
Stirring intensity:	100 ml 0.2% PEO + 900 ml water										
PEO Dilution	0.02% -> injected at 340 mL/min										
Concentration after	10 cm x 2.6 mm capillary										
PEO Pressure drop	3.33 kPa @ 250 mL/min										
0.20%	3.68 kPa @ 400 mL/min										
0.02%											
Other											
PEO dosage	30 g/T										
CF dosage	60 g/T										
PEO/CF	1:2										

experimental value

Stream	Consistency Analysis					
	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Fibres (g)	Stream Consistency
Headbox before	101	0.9711	90.7275	1.6765	0.705	0.78%
	102	0.9642	89.7422	1.6628	0.689	0.78%
	103	0.9726	88.0534	1.6539	0.681	0.77%
White water	104	0.9632	87.8245	1.1091	0.146	0.17%
	105	0.9716	98.0206	1.1364	0.165	0.17%
	106	0.9760	78.4730	1.1102	0.134	0.17%
Wet web	107	0.9679	71.8766	1.3988	0.431	6.33%
104.608	108	0.9694	86.0891	1.5105	0.541	6.64%
g in 1000 ml of water	109	0.9625	95.4339	1.566	0.604	6.66%
Stream	Fines Content Analysis					
	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Fibres (g)	Stream Consistency
Headbox before	110	0.9705	79.2873	1.4204	0.450	26.92%
	111	0.9718	80.9865	1.4500	0.478	23.95%
White water	112	0.9584	86.3597	1.4808	0.522	22.09%
Wet web	113	0.9718	82.1204	1.4445	0.473	16.75%
	114	0.9651	89.0224	1.4690	0.504	16.14%
	115	0.9728	95.3968	1.5026	0.530	19.68%

Pulp Flow			
Pump RPM	945		
Size (mm)	6		
Duration (s)	29.44		
Pulp Flow Rate (kg/s)	3.89		
Pulp Velocity (m/s)	4.05		

Fabric Tension			
Pressure, long (kPa)	425		
Pressure, short (kPa)	220		
Tension, long (kN/m)	2.01		
Tension, short (kN/m)	2.02		

Fabric Velocity	
Motor RPM	1750
Fabric Velocity (m/s)	

Calibration Parameters	
Headbox Slope	4.027
Pump in tubing	26

# Expérience 6 – Set I

Date Experiment #									
March 18/20 2003 6 SET 1									
Stream	Mass Balance			Fibre Balance			Fines Balance		
	Bucket Mass (kg)	With Stream (kg)	Stream Mass (kg)	Stream Consistency	Solids (kg)	Stream Consistency	Fines Fraction	Stream Fines (kg)	Stream Fines (kg)
Headbox	Initial (cm): 59.5	25.0	112.93	0.771%	0.7795	0.7795	22.44%	0.1749	0.1749
Forming	Final (cm): 0.00								
Folts	2.92								
Vacuum #1	6.24		89.50	0.146%	0.1306	0.1306	100.00%	0.1306	0.1306
Vacuum #2	5.77								
Vacuum #3	5.78								
Web	3.56	15.15	11.59	6.231%	0.7222	0.7222	6.14%	0.0443	0.0443
Total Collected, kg			101.09		0.8528	0.8528		0.1749	0.1749
Loss, EPSILON			11.84		-0.0733	-0.0733		0.0000	0.0000
Recovery:			89.5%		103.4%	103.4%		100.0%	100.0%
Fines info:									
1 g PEO in 500 mL distilled water									
PEO Preparation									
Concentration:	0.20%								
Dissolution time:	1 hour								
Stirring intensity:	400 rpm								
PEO Disentanglement:	no disentanglement								
Stirring time:	16 hours								
PEO Diffusion	400 RPM								
Concentration after	100 mL 0.2% PEO + 1900 mL water								
PEO Pressure drop	0.01% -> injected at 1800 mL/min								
0.20%	10 cm x 2.6 mm capillary								
0.01%	3.33 kPa @ 250 mL/min								
Other	3.18 kPa @ 400 mL/min								
PEO dosage	80 g/T								
CF dosage	160 g/T								
PEO:CF	1:2								

experimental value

Stream	Consistency Analysis					
	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Fibres (g)	Stream Consistency
Headbox before	201	0.9552	71.3350	1.5114	0.556	0.78%
	202	0.9762	87.8580	1.6497	0.674	0.77%
	203	0.9436	86.2200	1.6050	0.661	0.77%
White water	204	0.9505	75.7445	1.0550	0.105	0.138%
	205	1.0108	77.3171	1.1242	0.113	0.147%
	206	0.9548	75.6998	1.0707	0.116	0.153%
Wet web	207	0.9618	89.0980	1.4782	0.516	6.24%
102.445	208	0.9872	91.8930	1.4976	0.510	6.00%
g in 1000 ml of wat	209	0.9686	75.9587	1.4246	0.456	6.46%
Stream	Fines Content Analysis					
	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Fibres (g)	Stream Consistency
Headbox before	210	0.9526	81.4051	1.4234	0.471	25.00%
	211	0.9688	88.8996	1.5016	0.533	22.28%
	212	0.9509	83.1575	1.4363	0.485	24.30%
White water	213	0.9684	88.3054	1.4033	0.435	26.56%
	214	0.9538	83.8083	1.3682	0.414	26.26%
	215	0.9593	74.4850	1.3277	0.368	26.24%

Pulp Flow	
Pump RPM	945
Slice (mm)	6
Duration (s)	26.16
Pulp Flow Rate (kg/s)	3.87
Pulp Velocity (m/s)	4.03

Fabric Tension	
Pressure, long (kPa)	425
Pressure, short (kPa)	220
Tension, long (kN/m)	2.01
Tension, short (kN/m)	2.02

Fabric Velocity	
Motor RPM	1750
Fabric Velocity (m/s)	

Calibration Parameters	
Headbox Slope	4.027
Pump in tubing	26

## Expérience 7 – Set 1

Date	March 18/20 2003					
Experiment #	7 SET 1					
Stream	Mass Balance			Fibre Balance		Fines Balance
	Bucket	With	Stream	Stream	Stream	Stream
	Mass (kg)	Stream (kg)	Mass (kg)	Consistency	Solids (kg)	Fines (kg)
Headbox	Initial (cm):	59.5	114.14	0.786%	0.7959	22.44%
	Final (cm):	24.7				
Forming						
Foils	2.92		92.56	0.151%		0.1397
Vacuum #1	6.24					
Vacuum #2	5.77					
Vacuum #3	5.78					
Web	3.56	14.95	11.39	6.105%	0.6954	5.60%
Total Collected, kg			103.95		0.8351	0.0390
Loss, EPSILON			10.19		-0.0391	0.1786
Recovery:			91.1%		104.9%	100.0%
PEO Preparation	1 g PEO in 500 mL distilled water					
Concentration:	0.20%					
Dissolution time:	1 hour					
Stirring intensity:	400 rpm					
PEO Disentanglement	no disentanglement					
Stirring time:	16 hours					
Stirring intensity:	400 RPM					
PEO Dilution	50 ml 0.2% PEO + 950 ml water					
Concentration after	0.01% -> injected at 680 mL/min					
PEO Pressure drop	10 cm x 2.6 mm capillary					
0.20%	3.33 kPa @ 250 mL/min					
0.01%	3.23 kPa @ 400 mL/min					
Other						
PEO dosage	30 g/T					
CF dosage	360 g/T					
PEO:CF	1:12					

 experimental value

Pulp Flow	
Pump RPM	945
Size (mm)	6
Duration (s)	29.37
Pulp Flow Rate (kg/s)	3.89
Pulp Velocity (m/s)	4.05

Fabric Tension	
Pressure, long (kPa)	425
Pressure, short (kPa)	220
Tension, long (kN/m)	2.01
Tension, short (kN/m)	2.02

Fabric Velocity	
Motor RPM	1750
Fabric Velocity (m/s)	

Calibration Parameters	
Headbox Slope	4.027
Pump in tubing	26

Stream	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Mass of Fibres (g)	Stream Consistency
Headbox before	301	0.9755	73.9998	1.5400	0.565	0.76%
	302	0.9799	91.0512	1.6759	0.696	0.76%
	303	0.9678	82.0170	1.5992	0.631	0.77%
White water	304	0.9924	66.3937	1.0914	0.099	0.15%
	305	0.9748	83.0904	1.1014	0.127	0.15%
	306	0.9916	82.9525	1.1170	0.125	0.15%
Wet web	307	0.9858	85.8898	1.4699	0.484	5.97%
104.567	308	0.9803	98.9400	1.5486	0.568	6.07%
g in 1000 ml of water	309	0.973	73.9104	1.4125	0.440	6.28%

Stream	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Mass of Fibres (g)	Stream Consistency
Headbox before	310	0.9968	81.3442	1.4701	0.473	24.01%
	311	0.9718	85.1635	1.4969	0.525	19.47%
White water	312	0.9831	76.2721	1.4340	0.451	22.79%
Wet web	313	0.9698	78.0900	1.3654	0.396	21.45%
	314	0.9842	80.8035	1.4061	0.422	19.04%
	315	0.9809	86.0481	1.4404	0.460	17.20%

# Expérience 8 – Set 1

March 18/20 2003									
8 SET 1									
Date Experiment # Stream	Mass Balance			Fibre Balance			Fines Balance		
	Bucket Mass (kg)	With Stream (kg)	Stream Mass (kg)	Stream Consistency	Stream Solids (kg)	Stream Fines (kg)	Fines Fraction	Stream Fines (kg)	Stream Fines (kg)
Headbox	Initial (cm):	59.5	113.33	0.788%	0.7885	0.1769	22.44%	0.1769	
	Final (cm):	24.9							
Forming	0.00								
Folds	2.92								
Vacuum #1	6.24		90.40	0.126%	0.1138	0.1138	100.00%	0.1138	
Vacuum #2	5.77								
Vacuum #3	5.78								
Web	3.56	15.79	12.23	5.703%	0.6975	0.0631	9.05%	0.0631	
Total Collected, kg			102.63		0.8113	0.1769		0.1769	
Loss, EPSILON			10.70		-0.0228	0.0000		0.0000	
Recovery:			90.6%		102.9%	100.0%		100.0%	
Fines in water									
PEO Preparation	1 g PEO in 500 mL distilled water								
Concentration:	0.20%								
Dissolution time:	1 hour								
Stirring intensity:	400 rpm								
PEO Disentanglement	no disentanglement								
Stirring time:	16 hours								
Stirring intensity:	400 RPM								
PEO Dilution	100 mL 0.2% PEO + 900 mL water								
Concentration after	0.02% -> injected at 900 mL/min								
PEO Pressure drop	10 cm x 2.6 mm capillary								
0.20%	3.33 kPa @ 250 mL/min								
0.02%	3.66 kPa @ 400 mL/min								
Other									
PEO dosage	80 g/T								
CF dosage	960 g/T								
PEO/CF	1:12								

experimental value

Consistency Analysis									
Stream	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Fibres (g)	Mass of	Stream	Consistency	
Headbox before	401	0.9802	78.7736	1.5869	0.607	0.77%			
	402	0.9745	83.7342	1.6152	0.641	0.77%			
	403	0.9752	80.0298	1.5911	0.616	0.77%			
White water	404	0.9669	83.4706	1.0724	0.106	0.13%			
	405	0.9910	76.0679	1.0865	0.096	0.13%			
	406	0.9724	87.0991	1.0820	0.110	0.13%			
Wet web	407	0.9831	91.7014	1.4311	0.448	5.24%			
102.879	408	0.9700	77.8664	1.3745	0.405	5.58%			
g in 1000 ml of water	409	0.9754	95.7132	1.5369	0.562	6.29%			
Fines Content Analysis									
Stream	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Fibres (g)	Mass of	Stream	Consistency	
Headbox before	410	0.9674	79.5835	1.4533	0.486	20.53%			
	411	0.9730	77.9171	1.4349	0.462	22.84%			
White water	412	0.9688	84.5365	1.4713	0.503	22.63%			
Wet web	413	0.9754	80.8159	1.3813	0.406	17.85%			
	414	0.9646	76.1807	1.3415	0.377	19.08%			
	415	0.9675	88.9156	1.3979	0.430	20.83%			

Pulp Flow	
Pump RPM	945
Size (mm)	6
Duration (s)	20.31
Pulp Flow Rate (kg/s)	3.87
Pulp Velocity (m/s)	4.03

Fabric Tension	
Pressure, long (kPa)	425
Pressure, short (kPa)	220
Tension, long (kN/m)	2.01
Tension, short (kN/m)	2.02

Fabric Velocity	
Motor RPM	1750
Fabric Velocity (m/s)	

Calibration Parameters	
Headbox Slope	4.027
Pump m tubing	26



# Expérience 1 – Set 2

Date		April 17, 2003									
Experiment #		1 SET2									
Stream		Mass Balance			Fibre Balance			Fines Balance			
		Bucket	With	Stream	Stream	Stream	Stream	Fines	Stream	Stream	
Headbox	Mass (kg)	Stream (kg)	Mass (kg)	Consistency	Solids (kg)		Fines <td>Fraction</td> <td>Fines<td>Stream</td></td>	Fraction	Fines <td>Stream</td>	Stream	
	Initial(cm):	59.5	110.11	0.798%	0.7954		22.44%	0.1785			
	Final(cm):	25.7									
Forming		0.00									
Folts		2.92									
Vacuum #1		6.24		89.72	0.175%	0.1574		100.00%	0.1574		
Vacuum #2		5.77									
Vacuum #3		5.78									
Web		3.56	13.57	10.01	6.438%	0.6445		3.27%	0.0211		
Total Collected, kg				99.73		0.8019			0.1785		
Loss, EPSILON				10.38		-0.0065			0.0000		
Recovery:				90.6%		100.8%			100.0%		
PEO Preparation		1 g PEO in 500 mL distilled water									
	Concentration:	0.20%									
	Dissolution time:	1 hour									
	Stirring intensity:	400 rpm									
PEO Disengagement		disengagement									
	Stirring time:	16 hours									
	Stirring intensity:	400 rpm									
PEO Dilution		100 mL 0.2% PEO + 900 mL water									
	Concentration after	0.02% -> injected at 340 mL/min									
PEO Pressure drop		10 cm x 2.6 mm capillary									
	0.20%	320 kPa @250 mL/min									
	0.02%	3.80 kPa @400 mL/min									
Other											
	PEO dosage	30 g/T									
	CF dosage	60 g/T									
	PEO/CF	1:2									

experimental value

Stream		Consistency Analysis					
		Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Fibres (g)	Stream Consistency
Headbox before		101	0.9736	94.2486	1.7202	0.747	0.79%
		102	0.9832	93.7530	1.7479	0.765	0.82%
		103	0.9824	78.1863	1.5960	0.614	0.78%
White water		104	0.9950	76.4344	1.1279	0.133	0.17%
		105	0.9769	85.8572	1.1262	0.149	0.17%
		106	0.9624	77.2163	1.1003	0.138	0.18%
Wet web		107	0.9701	75.5579	1.4737	0.504	6.44%
115.371		108	0.9729	95.4079	1.6296	0.657	6.65%
g in 1000 ml of water		109	0.9720	69.8026	1.4209	0.449	6.22%
Stream		Fines Content Analysis					
		Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Fibres (g)	Stream Consistency
Headbox before		110	0.9639	74.8380	1.4223	0.458	23.20%
		111	0.9614	88.4511	1.5000	0.539	23.65%
White water		112	0.9741	75.5876	1.4369	0.463	23.23%
Wet web		113	0.9813	77.3357	1.4791	0.498	-3.41%
		114	0.9668	92.9074	1.5859	0.619	-7.06%
		115	0.9717	72.3944	1.4311	0.459	-1.95%

Pulp Flow	
Pump RPM	945
Size (mm)	6
Duration (s)	28.97
Pulp Flow Rate (kg/s)	3.80
Pulp Velocity (m/s)	3.96

Fabric Tension	
Pressure, long (kPa)	425
Pressure, short (kPa)	220
Tension, long (kN/m)	2.01
Tension, short (kN/m)	2.02

Fabric Velocity	
Motor RPM	1750
Fabric Velocity (m/s)	

Calibration Parameters	
Headbox Slope	4.027
Pump in tubing	26

# Expérience 2 – Set 2

Date	Experiment #	April 17, 2003									
Stream	2 SET 2										
Stream	Mass Balance	Bucket		With		Stream		Stream		Fines Balance	
		Mass (kg)	Stream (kg)	Mass (kg)	Stream (kg)	Consistency	Solids (kg)	Consistency	Solids (kg)	Fines Fraction	Stream Fines (kg)
Headbox	Initial (cm): 59.5 Final (cm): 25.5 0.00	110.92	0.789%	0.1581	0.1788						
Forming	2.92										
Folds	6.24										
Vacuum #1	5.77										
Vacuum #2	5.78										
Vacuum #3	3.56										
Web	10.04										
Total Collected, kg	100.98										
Loss, EPSILON	9.94										
Recovery:	91.0%										
Fines Fraction	101.5%										
PEO Preparation	1 g PEO in 500 mL distilled water										
Concentration:	0.20%										
Dissolution time:	1 hour										
Stirring intensity:	400 rpm										
PEO Disentanglement	no disentanglement										
Stirring time:	0										
Stirring intensity:	0										
PEO Diffusion	50 ml 0.2% PEO + 960 ml water										
Concentration after	0.01% -> injected at 680 mL/min										
PEO Pressure drop	10.0 cm x 2.6 mm capillary										
0.20%	10.2 kPa @ 250 mL/min										
0.01%	6.5 kPa @ 400 mL/min										
Other											
PEO dosage	60 g/T										
CF dosage	30 g/T										
PEOCF	1.2										

experimental value

Stream	Consistency Analysis					
	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Fibres (g)	Stream Consistency
Headbox before	201	0.9702	64.9953	1.4826	0.512	0.79%
	202	0.9763	93.2983	1.7086	0.732	0.78%
	203	0.9512	87.5531	1.6462	0.695	0.79%
White water	204	0.9702	82.4242	1.1160	0.146	0.18%
	205	0.9561	90.0246	1.1139	0.158	0.18%
	206	0.9601	82.8380	1.1004	0.140	0.17%
Wet web	207	0.9694	80.2855	1.4484	0.479	6.11%
108.168	208	0.9624	82.6134	1.4861	0.534	6.62%
g in 1000 ml of water	209	0.9516	85.7851	1.5129	0.561	6.70%
Stream	Fines Content Analysis					
	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Fibres (g)	Stream Consistency
Headbox before	210	0.9741	73.3456	1.4062	0.432	25.33%
	211	0.9685	86.6747	1.4990	0.531	22.61%
White water	212	0.9655	88.1532	1.5215	0.556	20.06%
Wet web	213	0.9654	78.1862	1.4016	0.436	15.95%
	214	0.9699	87.6374	1.4506	0.481	17.37%
	215	0.9637	80.3264	1.4327	0.469	12.04%

Pulp Flow	
Pump RPM	945
Size (mm)	6
Duration (s)	20.06
Pulp Flow Rate (kg/s)	3.82
Pulp Velocity (m/s)	3.98

Fabric Tension	
Pressure, long (kPa)	425
Pressure, short (kPa)	220
Tension, long (kN/m)	2.01
Tension, short (kN/m)	2.02

Fabric Velocity	
Motor RPM	1750
Fabric Velocity (m/s)	

Calibration Parameters	
Headbox Slope	4.027
Pump in tubing	26

# Expérience 3 – Set 2

Date: April 17, 2003									
Experiment # 3 SET 2									
Stream	Mass Balance			Fibre Balance			Fines Balance		
	Bucket	With	Stream	Stream	Stream	Stream	Fines	Stream	Stream
Headbox	Mass (kg)	Stream (kg)	Mass (kg)	Consistency	Solids (kg)	Consistency	Fraction	Fines (kg)	Fines (kg)
	Initial (cm):	59.5	110.92	0.810%	0.8000		22.44%		0.1795
	Final (cm):	25.5							
Forming	0.00								
Folds	2.92								
Vacuum #1	6.24		87.32	0.148%	0.1291		100.00%		0.1291
Vacuum #2	5.77								
Vacuum #3	5.78								
Web	3.56	15.04	11.48	5.975%	0.6859		7.35%		0.0504
Total Collected, kg			98.80		0.8150				0.1795
Loss, EPSILON			12.12		-0.150				0.0000
Recovery:			89.1%		101.9%				100.0%
Fines retention									
PEO Preparation	1 g PEO in 500 mL distilled water								
Concentration:	0.20%								
Dissolution time:	1 hour								
Stirring intensity:	400 rpm								
PEO Disentanglement	no disentanglement								
Stirring time:	0								
Stirring intensity:	0								
PEO Diffusion	100 mL 0.2% PEO + 900 mL water								
Concentration after	0.02% -> injected at 900 mL/min								
PEO Pressure drop	10 cm x 2.6 mm capillary								
0.20%	10.2 kPa @ 250 mL/min								
0.02%	8.3 kPa @ 400 mL/min								
Other									
PEO dosage	80 g/T								
CF dosage	160 g/T								
PEO-CF	1:2								

experimental value

Consistency Analysis							
Stream	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Fibres (g)	Stream Consistency	
Headbox before	301	0.9502	87.3933	1.6364	0.686	0.79%	
	302	0.9555	86.8250	1.6558	0.700	0.81%	
	303	0.9541	93.9650	1.7410	0.787	0.84%	
White water	304	0.9657	80.2825	1.0638	0.118	0.15%	
	305	0.9684	91.5665	1.1052	0.137	0.15%	
	306	0.9612	88.2359	1.0909	0.130	0.15%	
Wet web	307	0.9854	82.1345	1.4727	0.487	5.89%	
	308	0.9533	85.1802	1.4770	0.524	6.10%	
	309	0.9791	81.0164	1.4643	0.485	5.94%	
g in 1000 ml of water							

Fines Content Analysis							
Stream	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Fibres (g)	Stream Consistency	
Headbox before	310	0.9599	83.1929	1.4631	0.503	25.30%	
	311	0.9693	88.4480	1.5331	0.564	21.28%	
	312	0.9593	80.7415	1.4599	0.501	23.43%	
White water	313	0.9691	75.3323	1.3725	0.403	9.85%	
	314	0.9747	85.0556	1.4560	0.481	4.52%	
	315	0.9863	77.7861	1.4110	0.425	7.88%	
Wet web	316	0.9693	80.7415	1.4599	0.501	23.43%	
	317	0.9693	80.7415	1.4599	0.501	23.43%	
	318	0.9693	80.7415	1.4599	0.501	23.43%	

Pulp Flow				Fabric Tension				Fabric Velocity				Calibration Parameters			
Pump RPM	Slice (mm)	Duration (s)	Pulp Flow Rate (kg/s)	Pressure, long (kPa)	Pressure, short (kPa)	Tension, long (kN/m)	Tension, short (kN/m)	Motor RPM	Fabric Velocity (m/s)	Headbox Slope	Pump in tubing	Pump in tubing	Headbox Slope	Pump in tubing	Pump in tubing
945	6	29.00	3.82	425	220	2.01	2.02	1750		4.027	26	26	4.027	26	26

Pulp Flow	
Pump RPM	945
Size (mm)	6
Duration (s)	20.00
Pulp Flow Rate (kg/s)	3.82
Pulp Velocity (m/s)	3.98

Fabric Tension	
Pressure, long (kPa)	425
Pressure, short (kPa)	220
Tension, long (kN/m)	2.01
Tension, short (kN/m)	2.02

Fabric Velocity	
Motor RPM	1750
Fabric Velocity (m/s)	

Calibration Parameters	
Headbox Slope	4.027
Pump in tubing	26

# Expérience 4 – Set 2

Date		April 17, 2003									
Experiment #		4 SET 2									
Stream		Mass Balance			Fibre Balance			Fines Balance			
		Bucket Mass (kg)	With Stream (kg)	Stream Mass (kg)	Stream Consistency	Stream Solids (kg)	Stream Consistency	Fines Fraction	Stream Fines (kg)		
Headbox	Initial (cm):	59.8		112.93		0.7777		22.44%		0.1745	
	Final (cm):	25.3									
Forming		0.00									
	Folds	2.92									
Vacuum #1		6.24		89.24		0.158%		100.00%		0.1409	
	Vacuum #2	5.77									
Vacuum #3		5.78									
	Web	3.56	14.41	10.85	6.117%	0.6637	5.07%		0.0336		
Total Collected, kg				100.09		0.8046			0.1745		
	Loss, EPSILON			12.84		-0.0270			0.0000		
Recovery:				88.6%		103.5%			100.0%		
Fines for											
1 g PEO in 500 mL distilled water											
PEO Preparation											
Concentration:		0.20%									
Dissolution time:		1 hour									
Stirring intensity:		400 rpm									
PEO Disentanglement		disentanglement									
Stirring time:		16 hours									
Stirring intensity:		400 rpm									
PEO Diffusion											
Concentration after		100 mL 0.2% PEO + 1900 mL water									
PEO Pressure drop		0.01% -> injected at 1800 mL/min									
0.20%		10 cm x 2.6 mm capillary									
0.01%		3.20 kPa @ 250 mL/min									
Other		3.26 kPa @ 400 mL/min									
PEO dosage		80 g/T									
CF dosage		160 g/T									
PEO:CF		1:2									

experimental value

Stream		Consistency Analysis					
Stream		Paper		Pulp		Dried	
		#	Mass (g)	Mass (g)	Mass (g)	Mass (g)	Mass (g)
Headbox before		401	0.9767	77.6390	1.5668	0.590	0.76%
		402	0.9813	83.2513	1.6368	0.655	0.79%
		403	0.9669	84.5185	1.6301	0.663	0.78%
White water		404	0.9735	79.1938	1.0973	0.124	0.16%
		405	0.9932	85.4520	1.1257	0.133	0.16%
		406	0.9643	84.1456	1.1008	0.137	0.16%
Wet web		407	0.9660	84.5161	1.5178	0.550	6.02%
121,134		408	0.9643	93.0893	1.5893	0.625	6.21%
g in 1000 ml of water		409	0.9612	74.4320	1.4678	0.507	6.30%

Pulp Flow	
Pump RPM	945
Slide (mm)	6
Duration (s)	29.18
Pulp Flow Rate (kg/s)	3.87
Pulp Velocity (m/s)	4.03

Fabric Tension	
Pressure, long (kPa)	425
Pressure, short (kPa)	220
Tension, long (kN/m)	2.01
Tension, short (kN/m)	2.02

Fabric Velocity	
Motor RPM	1760
Fabric Velocity (m/s)	

Calibration Parameters	
Headbox Slope	4.027
Pump in tubing	26

Stream		Fines Content Analysis					
Stream		Paper		Pulp		Dried	
		#	Mass (g)	Mass (g)	Mass (g)	Mass (g)	Mass (g)
Headbox before		410	0.9575	81.0214	1.4530	0.496	21.29%
		411	0.9667	87.3392	1.5097	0.543	19.98%
		412	0.9508	77.4596	1.4221	0.471	21.69%
White water							
Wet web		413	0.9638	77.3094	1.4102	0.446	
		414	0.9737	89.9554	1.5381	0.564	
		415	0.9609	81.4586	1.4546	0.494	

# Expérience 5 – Set 2

Date	Experiment #	April 17, 2003									
Stream		Mass Balance					Fibre Balance		Fines Balance		
Headbox		Bucket	With	Stream	Stream	Stream	Stream	Fines	Stream	Stream	
		Mass (kg)	Stream (kg)	Mass (kg)	Consistency	Solids (kg)	Fraction	Fines (kg)			
Forming	Initial (cm):	59.5		112.93	0.776%	0.7899	22.44%	0.1773			
	Final (cm):	25.0									
Foils		2.92									
Vacuum #1		6.24		91.14	0.154%	0.1402	100.00%	0.1402			
Vacuum #2		5.77									
Vacuum #3		5.78									
Web		3.56	14.24	10.68	6.486%	0.6927	5.35%	0.0371			
Total Collected, kg				101.82		0.8329		0.1773			
Loss, EPSILON				11.11		-0.0430		0.0000			
Recovery:				90.2%		105.4%		100.0%			
PEO Preparation		1 g PEO in 500 mL distilled water									
Concentration:		0.20%									
Dissolution time:		1 hour									
Stirring intensity:		400 rpm									
PEO Disentanglement		no disentanglement									
Stirring time:											
Stirring intensity:											
PEO Dilution		100 mL 0.2% PEO + 900 mL water									
Concentration after		0.02% -> injected at 340 mL/min									
PEO Pressure drop		10 cm x 2.6 mm capillary									
0.20%		10.2 kPa @ 250 mL/min									
0.02%		8.5 kPa @ 400 mL/min									
Other											
PEO dosage		30 g/T									
CF dosage		360 g/T									
PEO/CF		1:12									

experimental value

Stream	Paper #	Consistency Analysis				Stream Consistency
		Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Fibres (g)	
Headbox before	101	0.9617	78.7344	1.5812	0.620	0.79%
	102	0.9548	86.0410	1.6093	0.655	0.76%
	103	0.9655	85.8412	1.6349	0.669	0.78%
White water	104	0.9638	80.4170	1.0886	0.125	0.16%
	105	0.9733	93.5948	1.1165	0.143	0.15%
	106	0.9740	81.2853	1.0985	0.125	0.15%
Wet web	107	0.9688	80.5557	1.4721	0.513	6.42%
	108	0.9829	88.7158	1.5468	0.564	6.40%
	109	0.9510	74.6845	1.4436	0.493	6.64%
g in 1000 ml of water						
Stream	Paper #	Fines Content Analysis				Stream Consistency
		Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Fibres (g)	
Headbox before	110	0.9819	70.7034	1.4038	0.422	23.08%
	111	0.9569	92.9026	1.5201	0.563	21.86%
	112	0.9739	86.8419	1.5015	0.528	21.69%
White water						
Wet web	113	0.9787	80.9948	1.4511	0.472	10.70%
	114	0.9764	77.3203	1.3944	0.418	17.22%
	115	0.9486	90.8500	1.5138	0.565	4.74%

Pulp Flow	
Pump RPM	945
Slice (mm)	6
Duration (s)	29.03
Pulp Flow Rate (kg/s)	3.89
Pulp Velocity (m/s)	4.05

Fabric Tension	
Pressure, long (kPa)	425
Pressure, short (kPa)	220
Tension, long (kN/m)	2.01
Tension, short (kN/m)	2.02

Fabric Velocity	
Motor RPM	1750
Fabric Velocity (m/s)	

Calibration Parameters	
Headbox Slope	4.027
Pump in tubing	26

# Expérience 6 – Set 2

Date		April 17, 2003									
Experiment #		6 SET 2									
Stream		Mass Balance			Fibre Balance			Fines Balance			
		Bucket Mass (kg)	With Stream (kg)	Stream Mass (kg)	Stream Consistency	Solids (kg)	Stream Consistency	Fines Fraction	Stream Fines (kg)		
Headbox	Initial (cm):		59.5	113.74	0.785%	0.8094		22.44%	0.1816		
	Final (cm):		24.8								
Forming	0.00			92.74	0.154%	0.1425		100.00%	0.1425		
	Folds	2.92									
Vacuum #1	6.24										
	Vacuum #2	5.77									
Vacuum #3	5.78										
	Web	3.56	13.99	10.43	6.530%	0.6811	5.74%	0.0391			
Total Collected, kg				103.17		0.8236		0.1816			
	Loss, EPSILON			10.57		-0.0142		0.0000			
Recovery				90.7%		101.8%		100.0%			
Fines recovery											
PEO Preparation		1 g PEO in 500 mL distilled water									
Concentration:		0.20%									
Dissolution time:		1 hour									
Stirring intensity:		400 rpm									
PEO Disentanglement		disentanglement									
Stirring time:		16 hours									
Stirring intensity:		400 RPM									
PEO Dilution		50 ml 0.2% PEO + 950 ml water									
Concentration after		0.01% -> injected at 680 mL/min									
PEO Pressure drop		10 cm x 2.6 mm capillary									
0.20%		3.20 kPa @ 250 mL/min									
0.01%		3.28 kPa @ 400 mL/min									
Other											
PEO dosage		30 g/T									
CF dosage		360 g/T									
PEO/CF		1:12									

experimental value

Stream		Consistency Analysis					
Stream	Paper #	Paper		Pulp		Dried	
		Mass (g)	Mass (g)	Mass (g)	Mass (g)	Mass (g)	Mass (g)
Headbox before		201 0.9628	88.2952	1.6518	0.689	0.78%	0.78%
		202 0.9639	84.1316	1.6285	0.665	0.79%	0.79%
		203 0.9443	76.8112	1.5459	0.602	0.78%	0.78%
White water		204 1.0036	79.5661	1.1287	0.125	0.157%	0.157%
		205 0.9672	84.4694	1.0938	0.127	0.150%	0.150%
		206 1.0090	75.9685	1.1259	0.117	0.154%	0.154%
Wet web		207 0.9676	89.0160	1.5490	0.581	6.48%	6.48%
112.049		208 0.9810	83.5305	1.5458	0.565	6.71%	6.71%
g in 1000 ml of water		209 0.9516	83.3246	1.4887	0.537	6.40%	6.40%
Stream		Fines Content Analysis					
Stream	Paper #	Paper		Pulp		Dried	
		Mass (g)	Mass (g)	Mass (g)	Mass (g)	Mass (g)	Mass (g)
Headbox before		210 0.9890	81.7779	1.4781	0.489	23.76%	23.76%
		211 0.9737	92.7982	1.5552	0.582	20.12%	20.12%
		212 0.9552	85.4628	1.4949	0.540	19.50%	19.50%
White water						0.211298038	0.211298038
Wet web		213 0.9747	65.8001	1.3604	0.386	9.55%	9.55%
		214 0.9535	85.8279	1.4540	0.501	10.02%	10.02%
		215 0.9809	75.8043	1.4135	0.433	11.94%	11.94%

Pulp Flow		Pulp Flow	
Pump RPM	945	Pump RPM	945
Slide (mm)	6	Slide (mm)	6
Duration (s)	29.53	Duration (s)	29.53
Pulp Flow Rate (kg/s)	3.85	Pulp Flow Rate (kg/s)	3.85
Pulp Velocity (m/s)	4.01	Pulp Velocity (m/s)	4.01

Fabric Tension		Fabric Tension	
Pressure, long (kPa)	425	Pressure, long (kPa)	425
Pressure, short (kPa)	220	Pressure, short (kPa)	220
Tension, long (kN/m)	2.01	Tension, long (kN/m)	2.01
Tension, short (kN/m)	2.02	Tension, short (kN/m)	2.02

Fabric Velocity		Fabric Velocity	
Motor RPM	1750	Motor RPM	1750
Fabric Velocity (m/s)		Fabric Velocity (m/s)	

Calibration Parameters		Calibration Parameters	
Headbox Slope	4.027	Headbox Slope	4.027
Pump in tubing	26	Pump in tubing	26

# Expérience 7 – Set 2

Date	Experiment #	April 17, 2003
Stream	7 SET 2	
	Mass Balance	Fibre Balance
	Bucket With Stream	Stream
Headbox	Mass (kg) 59.5 Initial (cm) 25.2 Final (cm) 0.00	Mass (kg) 112.13 Consistency, Solids (kg) 0.7766
Forming		
Folds	2.92	
Vacuum #1	6.24	
Vacuum #2	5.77	
Vacuum #3	5.78	
Web	3.56	
Total Collected, kg	14.95	11.39
Loss, EPSILON	101.03	0.8829
Recovery:	11.10	-0.1062
	90.1%	113.7%
PEO Preparation	1 g PEO in 500 mL distilled water	
Concentration:	0.20%	
Dissolution time:	1 hour	
Stirring intensity:	400 rpm	
PEO Disentanglement	disentanglement	
Stirring time:	16 hours	
Stirring intensity:	400 RPM	
PEO Diffusion	100 ml 0.2% PEO + 900 ml water	
Concentration after	0.02% -> injected at 900 mL/min	
PEO Pressure drop	10 cm x 2.6 mm capillary	
0.20%	3.20 kPa @ 250 mL/min	
0.02%	3.86 kPa @ 400 mL/min	
Other		
PEO dosage	80 g/T	
CF dosage	960 g/T	
PEO/CF	1:12	

experimental value

Stream	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Mass of Fibres (g)	Stream Consistency
Headbox before	301	0.9621	71.3607	1.5126	0.551	0.77%
	302	0.9651	86.3374	1.6314	0.666	0.77%
	303	0.9740	76.2509	1.5558	0.582	
White water	304	0.9718	83.1720	1.0777	0.106	0.13%
	305	0.9604	82.5675	1.0657	0.105	0.13%
	306	0.9826	78.5552	1.0755	0.093	0.12%
Wet web	307	0.9754	89.5941	1.5389	0.564	6.61%
105, 101	308	0.9810	85.4892	1.5134	0.552	6.79%
g in 1000 ml of water	309	0.9758	87.1501	1.5485	0.573	6.91%

Stream	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Mass of Fibres (g)	Stream Consistency
Headbox before	310	0.9705	71.4192	1.3993	0.429	21.90%
	311	0.9623	87.2251	1.4943	0.532	20.66%
	312	0.9652	79.1595	1.4512	0.486	20.13%
White water						
Wet web	313	0.9766	79.2027	1.4167	0.440	21.97%
	314	0.9720	86.3875	1.4362	0.464	24.54%
	315	0.9727	85.4605	1.4361	0.463	23.85%

Pulp Flow	
Pump RPM	945
Size (mm)	6
Duration (s)	29.09
Pulp Flow Rate (kg/s)	3.85
Pulp Velocity (m/s)	4.02

Fabric Tension	
Pressure, long (kPa)	495
Pressure, short (kPa)	220
Tension, long (kN/m)	2.01
Tension, short (kN/m)	2.02

Fabric Velocity	
Motor RPM	1750
Fabric Velocity (m/s)	

Calibration Parameters	
Headbox Slope	4.02
Pump in tubing	26

## Expérience 8 - Set 2

Date	April 17, 2003									
Experiment #	8 SET 2									
Stream	Mass Balance			Fibre Balance			Fines Balance			
	Bucket	With	Stream	Stream	Stream	Stream	Fines	Fines	Fines	Fines
Headbox	Mass (kg)	Stream (kg)	Mass (kg)	Consistency	Solids (kg)	Consistency	Fraction	Fraction	Fines (kg)	Fines (kg)
	Initial (cm):	59.5	113.74	0.780%	0.7817	22.44%	0.1754			
	Final (cm):	24.8								
Forming		0.00								
Folts		2.92								
Vacuum #1		6.24	88.20	0.128%	0.1125	100.00%	0.1125			
Vacuum #2		5.77								
Vacuum #3		5.78								
Web		3.56	15.57	12.01	6.180%	0.7398	8.50%	0.0629		
Total Collected, kg			100.21		0.8523		0.1754			
Loss, EPSILON			13.53		-0.0706		0.0000			
Recovery:			88.1%		109.0%		100.0%			
Notes:	1 g PEO in 500 mL distilled water									
PEO Preparation										
Concentration:	0.20%									
Dissolution time:	1 hour									
Stirring intensity:	400 rpm									
PEO Disentanglement	no disentanglement									
Stirring time:	0									
Stirring intensity:	0									
PEO Dilution	100 ml 0.2% PEO + 1900 ml water									
Concentration after	0.01% -> injected at 1800 mL/min									
PEO Pressure drop	10 cm x 2.6 mm capillary									
0.20%	10.2 kPa @ 250 mL/min									
0.01%	6.4 kPa @ 400 mL/min									
Other										
PEO dosage	80 g/T									
CF dosage	960 g/T									
PEO/CF	1:12									

 : experimental value

Consistency Analysis									
Stream	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Fibres (g)	Mass of Fibres (g)	Stream Consistency		
Headbox before	401	0.9602	77.8724	1.5663	0.606		0.78%		
	402	0.9768	92.6472	1.7026	0.726		0.78%		
	403	0.9505	69.4080	1.4908	0.540		0.78%		
White water	404	0.9711	78.1465	1.0698	0.099		0.13%		
	405	0.9450	91.5862	1.0602	0.115		0.13%		
	406	0.9657	88.3502	1.0782	0.113		0.13%		
Wet web	407	0.9462	90.6258	1.4614	0.515		6.00%		
104.658	408	0.9581	78.7649	1.4174	0.459		6.15%		
g in 1000 ml of water	409	0.9548	82.2300	1.4475	0.493		6.32%		
Fines Content Analysis									
Stream	Paper #	Paper Mass (g)	Pulp Mass (g)	Dried Mass (g)	Fibres (g)	Mass of Fibres (g)	Stream Consistency		
Headbox before	410	0.9712	83.5737	1.4875	0.516		20.80%		
	411	0.9699	89.9200	1.5165	0.547		22.07%		
White water	412	0.9655	87.0760	1.4931	0.528		22.33%		
Wet web	413	0.9841	79.4778	1.3674	0.383		25.82%		
	414	0.9753	77.3210	1.3785	0.403		19.79%		
	415	0.9723	78.7080	1.3953	0.423		17.34%		

Pulp Flow	
Pump RPM	945
Size (mm)	6
Duration (s)	29.0
Pulp Flow Rate (kg/s)	3.92
Pulp Velocity (m/s)	4.09

Fabric Tension	
Pressure, long (kPa)	425
Pressure, short (kPa)	220
Tension, long (kN/m)	2.01
Tension, short (kN/m)	2.02

Fabric Velocity	
Motor RPM	1750
Fabric Velocity (m/s)	

Calibration Parameters	
Headbox Slope	4.027
Pump in tubing	26